

## SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ SEBAGAI MATERIAL FOTOKATALIS DEGRADASI METHYLENE BLUE

<sup>1)</sup>Solikatul Badriyah, <sup>2)</sup>Munasir

<sup>1)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [solikatul.20013@mhs.unesa.ac.id](mailto:solikatul.20013@mhs.unesa.ac.id)

<sup>2)</sup> Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: [munasir\\_physics@unesa.ac.id](mailto:munasir_physics@unesa.ac.id)

### Abstrak

Beberapa tahun terakhir, pencemaran air disebabkan oleh berbagai industri tekstil produksinya menghasilkan limbah yang mengandung zat pewarna *methylene blue*. Dengan ini diperlukan material semikonduktor (seperti ZnO) yang mampu membantu kinerja fotokatalis untuk mengatasinya. Nanopartikel ZnO mudah **rekombinasi pasangan elektron-lubang** sehingga diperlukan penambahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat membantu mengurangi rekombinasi muatan dan memperpanjang umur pasangan elektron-lubang, sehingga meningkatkan efisiensi degradasi polutan. Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  (FZ) telah berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal sebagai kandidat material fotokatalis untuk degradasi polutan organik. Proses sintesis dilakukan dengan menggabungkan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan prekursor ZnO dalam kondisi reaksi terkontrol. Karakterisasi struktur kristal menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa nanokomposit FZ memiliki puncak-puncak khas yang merepresentasikan fasa ZnO dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , yang mengindikasikan keberhasilan pembentukan komposit. Ukuran kristalit FZ diperoleh sebesar 33,99 nm dan tergolong dalam kategori nanokristal. Analisis gugus fungsi menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) menunjukkan adanya getaran regangan logam-oksigen, yaitu pita serapan Zn-O pada sekitar  $440\text{--}450\text{ cm}^{-1}$  dan Fe-O pada sekitar  $563\text{ cm}^{-1}$ . Keberadaan kedua gugus ini mengonfirmasi integrasi kedua material dalam struktur nanokomposit. Dengan struktur kristal yang baik dan kehadiran gugus fungsional yang mendukung, nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  berpotensi dikembangkan sebagai material fotokatalis yang efektif dalam aplikasi pengolahan air limbah yang mengandung zat warna organik.

**Kata Kunci:** Fotokatalis, *Methylene Blue*, Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$

### Abstract

In recent years, water pollution has become increasingly severe due to the discharge of dye-containing wastewater from various textile industries, with methylene blue being one of the most common and persistent pollutants. To address this issue, semiconductor materials such as zinc oxide (ZnO) are widely explored for their photocatalytic properties. However, ZnO nanoparticles suffer from rapid recombination of photo-generated electron-hole pairs, limiting their photocatalytic efficiency. To improve charge separation and enhance photocatalytic activity, the incorporation of magnetic  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles into ZnO has been proposed. In this study,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  (FZ) nanocomposites were successfully synthesized via a hydrothermal method under controlled reaction conditions. The crystal structure analysis using X-ray Diffraction (XRD) confirmed the formation of a composite material, with diffraction peaks corresponding to both ZnO and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  phases. The crystallite size of the FZ nanocomposite was determined to be 33.99 nm, indicating the nanocrystalline nature of the material. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) analysis revealed characteristic metal-oxygen stretching vibrations, with absorption bands at approximately  $440\text{--}450\text{ cm}^{-1}$  for Zn-O and around  $563\text{ cm}^{-1}$  for Fe-O, confirming the successful integration of both metal oxides in the composite structure. Based on its crystalline properties and the presence of functional groups that facilitate photocatalytic reactions, the  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  nanocomposite exhibits great potential as an effective photocatalyst for the degradation of organic dyes in wastewater treatment applications.

**Keywords:** Photocatalyst, *Methylene Blue*,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  Nanocomposite

## I. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir, penggunaan pewarna sintesis seperti methylene blue (MB) dalam industri tekstil dan kayu telah menimbulkan masalah pencemaran air yang serius (Holkar et al., 2016). Pewarna ini sulit terbiodegradasi dan berbahaya bagi organisme hidup (Mufti et al., 2019). Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghilangkan MB dari air, termasuk adsorpsi, biosorpsi, dan membran, namun metode-metode ini seringkali menghasilkan polutan sekunder atau memerlukan biaya yang tinggi. Fotokatalis telah menjadi solusi yang lebih disukai karena memanfaatkan cahaya untuk mendegradasi polutan tanpa menciptakan polutan sekunder (Elshypany et al., 2021). Di antara berbagai bahan fotokatalis, Zinc oxide (ZnO) merupakan salah satu semikonduktor yang paling banyak digunakan karena memiliki celah pita (band gap) yang besar dan efisiensi kuantum yang tinggi (Shashank et al., 2021).

Meskipun ZnO memiliki banyak keunggulan, salah satu kelemahannya adalah rekombinasi cepat antara pasangan elektron-lubang yang dihasilkan saat terkena cahaya, yang mengurangi efisiensinya (Shashank et al., 2021). Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti menggabungkan ZnO dengan material lain seperti Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, semikonduktor tipe p yang memiliki sifat magnetik dan kapasitas adsorpsi yang baik (Munasir et al., 2020). Penggabungan ini membantu memperpanjang rentang penyerapan cahaya dan mempercepat pemisahan pasangan elektron-lubang, sehingga meningkatkan kinerja fotokatalis. Selain itu, ZnO sering dikombinasikan dengan bahan semikonduktor lain seperti Ag<sub>2</sub>O dan TiO<sub>2</sub> untuk memanfaatkan perbedaan celah energi dan mencegah rekombinasi cepat (Lei et al., 2020).

Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO dapat disintesis melalui berbagai metode, salah satunya yaitu metode hidrotermal yang efektif dalam menghasilkan struktur partikel dengan morfologi dan ukuran yang terkontrol. Selain itu, penting untuk melakukan karakterisasi secara menyeluruh untuk memahami struktur kristal dan gugus fungsi dari material yang dihasilkan. Teknik karakterisasi seperti X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). Penelitian ini bertujuan untuk sintesis dan karakterisasi nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO sebagai material fotokatalis degradasi methylene blue yang memiliki potensi untuk menjadi alternatif yang sangat efektif untuk mengatasi pencemaran air yang mengandung perwarna organik..

## II. METODE

### A. Rancangan Penelitian

#### Sintesis Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO



**Gambar 1.** Hasil Sintesis Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO

Penggabungan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang telah disiapkan dengan Zinc Asetat adalah dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal sederhana. Di dalam proses persiapan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (0,1 g) didispersikan dalam 20 mL aquades dengan ultrasonikasi selama 30 menit untuk mendapatkan suspensi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang stabil. Zinc Asetat (1,44 g, 5 mmol) ditambahkan kedalam suspensi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan distirrer selama 30 menit. KOH (1,6 g, 40 mmol) dilarutkan dalam aquades dan kemudian ditambahkan tetes demi tetes ke larutan campuran Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan zinc asetat. Setelah pengadukan konstan selama 30 menit, ditambahkan DMF (99%, 4,029 gram, 5 mmol) dan dicampurkan selama 30 menit. Suspensi dipindahkan ke dalam lapisan teflon *autoclave stainless steel* (100 mL).

Kemudian, dipanaskan pada suhu 110 C selama 9 jam. Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO filtratnya dibuang, kemudian endapan dicuci sebanyak 2 kali dengan aquades dan disentrifugasi. Lalu, dikeringkan dalam oven pada suhu 60 C selama 9 jam hingga terbentuk serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO

## **B. Metode Karakterisasi dan Teknik Analisis Data**

### ***X-Ray Diffraction (XRD)***

*X-Ray Diffraction* merupakan alat yang digunakan untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu material. Analisis struktur kristal bertujuan untuk mengetahui fase-fase material apa saja yang terbentuk. Analisis dilakukan dengan mengolah hasil XRD menggunakan software *Origin 8*, *Match*, dan *GSAS*. Dengan software tersebut dapat diidentifikasi fasa yang muncul pada tiap puncak. Teknik ini dilakukan dengan mencocokkan puncak difraksi (peak) sampel hasil uji XRD dengan data base sampel berupa file PDF card (Powder Diffraction File). Alat yang akan digunakan adalah XRD Pan Analytical tipe X'Pert pro yang akan menghasilkan puncak sehingga daerah kristal akan diketahui.

### ***Fourier Transform Infrared (FTIR)***

Fourier Transform Infrared Spectroscopy merupakan alat yang digunakan untuk mengidentifikasi gugus ikatan-ikatan kimia yang dimiliki oleh material. Spektroskopi FTIR merupakan teknik pengukuran yang digunakan untuk mengumpulkan spektrum inframerah. Hasil karakterisasi berupa grafik hubungan antara panjang gelombang dengan transmitansi. Sehingga dari grafik yang diperoleh dapat dianalisis gugus fungsi yang terbentuk, lalu dibandingkan dengan hasil karakterisasi pada referensi penelitian. Karakterisasi sampel menggunakan instrumentasi Shimadzu type IR Prestige-21 (Kyoto, Japan).

### **Spektroskopi UV-VIS**

Karakterisasi UV-Vis digunakan dalam proses fotokatalis untuk mengetahui nilai absorbansi larutan methylene blue sebelum dan sesudah proses fotokatalis. Untuk mengetahui persentase degradasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \dots \quad (1)$$

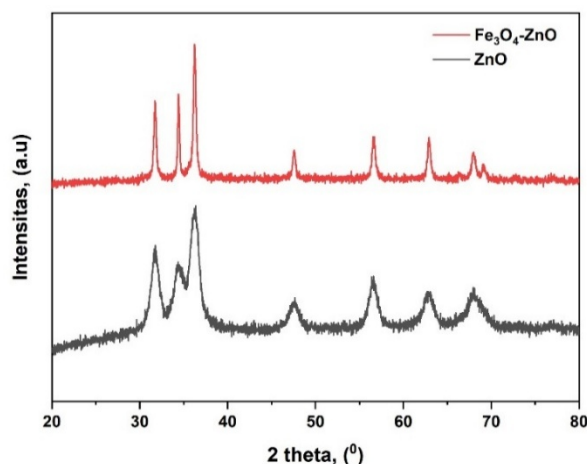
dengan  $C_0$  adalah konsentrasi awal methylene blue dan  $C_t$  adalah konsentrasi akhir methylene blue setelah proses fotokatalis.

## **III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### ***X-Ray Diffraction (XRD)***

Analisis karakterisasi XRD dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui struktur pola difraksi yang terbentuk pada sampel ZnO dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO. Hasil karakterisasi XRD berupa puncak difraksi ( $2\theta$ ), intensitas difraksi dan indeks miller. Berikut hasil XRD ZnO dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO.

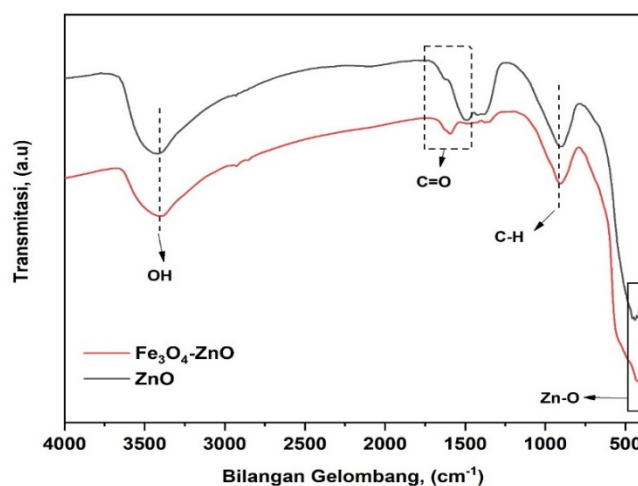
Berdasarkan **Gambar 2**, pola difraksi hitam menunjukkan puncak serapan dari ZnO pada  $2\theta = 31,75^\circ$ ;  $34,39^\circ$ ;  $36,27^\circ$ ;  $47,53^\circ$ ;  $56,57^\circ$ ;  $62,86^\circ$ ;  $67,94^\circ$ ; dan masing-masing puncak mempunyai nilai indeks miller (hkl) sebagai berikut: (100), (002), (101), (102), (110), (103), (201) (Magfirawati et al., 2022). Pada pola difraksi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO yang ditunjukkan pada gambar berwarna merah, menunjukkan bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terdapat didalam ZnO sehingga puncak Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> bertumpukan atau tertutup ZnO. Hal ini disebabkan pada saat proses sintesis yang dilakukan proses hidrotermal membuat Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> masuk kedalam ZnO dan ZnO juga lebih dominan. Rata-rata ukuran kristalit dari ZnO dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO ditemukan sebesar 13,71 nm dan 33,99 nm. Ukuran kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO berukuran nano karena material dengan ukuran kurang dari 100 nm dapat dikategorikan sebagai nanokristalit. Hasil ini menunjukkan bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan ZnO terdapat pada material komposit fotokatalis.



Gambar 1. Hasil Karakterisasi XRD

### Fourier Transform Infrared (FTIR)

Analisis karakterisasi FTIR dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya gugus fungsi dari ZnO dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ . Spektrum hasil karakterisasi FTIR yaitu hubungan antara bilangan gelombang dengan transmitasi. Hasil karakterisasi FTIR pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil Karaterisasi FTIR

Tabel 1. Gugus fungsi dan bilangan gelombang material ZnO dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$

| Material                           | Bilangan Gelombang $\text{cm}^{-1}$ | Gugus Fungsi | Bilangan gelombang literatur $\text{cm}^{-1}$ | Referensi                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| ZnO                                | 444                                 | Zn-O         | 443                                           | (Madhubala & Kalaivani, 2018) |
|                                    | 910                                 | C-H          | 905                                           | (Długosz et al., 2021)        |
|                                    | 3426                                | O-H          | 3425                                          | (Shashank et al., 2021)       |
| $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ | 563                                 | Fe-O         | 568                                           | (Elshypany et al., 2021)      |
|                                    | 448                                 | Zn-O         | 449                                           | (Elshypany et al., 2021)      |
|                                    | 908                                 | C-H          | 905                                           | (Długosz et al., 2021)        |
|                                    | 3426                                | O-H          | 3425                                          | (Shashank et al., 2021)       |

Dari Gambar 3 spektrum yang berwarna hitam menunjukkan hasil karakterisasi ZnO terdapat pita serapan pada bilangan gelombang  $444 \text{ cm}^{-1}$ ,  $910 \text{ cm}^{-1}$ , dan  $3426 \text{ cm}^{-1}$ . Pita serapan pada bilangan gelombang

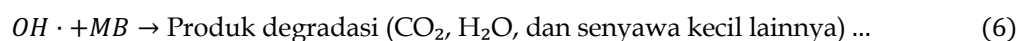
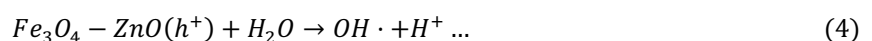
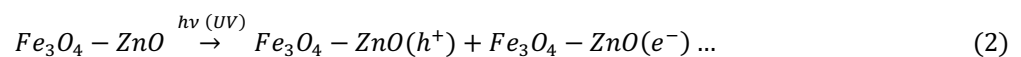
444 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi gugus oksida logam Zn-O. Pita serapan pada bilangan gelombang 910 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi gugus aromatik bending C-H, gugus ini muncul disebabkan pada proses pencucian sampel menggunakan pelarut organik etanol, sehingga sisa-sisa pelarut teradsorpsi pada permukaan ZnO. Hal tersebut juga terjadi pada proses sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO. Pita serapan pada bilangan gelombang 3426 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi gugus *hydroxyl* O-H dari molekul air H<sub>2</sub>O. Spektrum berwarna merah menunjukkan hasil karakterisasi FTIR Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO terdapat pita serapan pada bilangan gelombang 448 cm<sup>-1</sup>, 563 cm<sup>-1</sup>, 908 cm<sup>-1</sup>, dan 3426 cm<sup>-1</sup>. Pita serapan pada bilangan gelombang 448 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi *stretching* dari gugus Zn-O. Pita serapan pada bilangan gelombang 563 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi *stretching* dari gugus Fe-O. Pita serapan pada bilangan gelombang 3426 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi gugus hidroksil O-H dari molekul air H<sub>2</sub>O. Pada **Tabel 1** menunjukkan tabel perbandingan hasil uji FTIR penelitian dengan literatur.

### Hasil dan Mekanisme aktivitas fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO

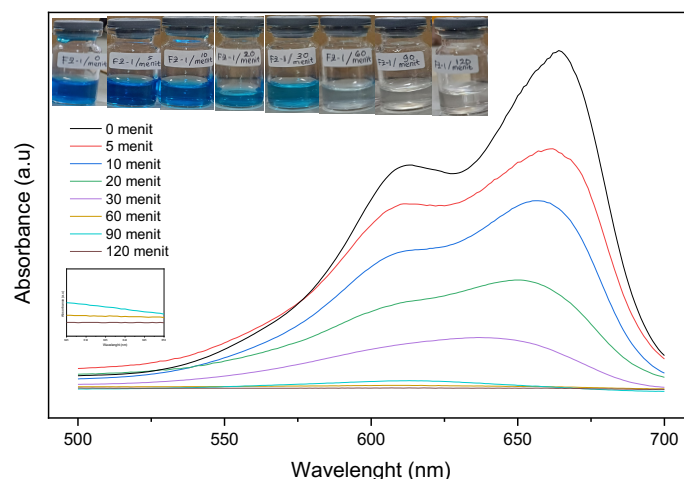


**Gambar 3.** Aktivitas fotokatalis sebelum (kiri) dan sesudah (kanan)

Tahapan reaksi dapat dijelaskan sebagai berikut. Pertama, terjadi proses fotoeksitasi (Pers 2), di mana elektron tereksitasi dari VB menuju CB sehingga terbentuk pasangan elektron-hole. Elektron pada CB kemudian bereaksi dengan molekul oksigen yang teradsorpsi pada permukaan katalis dan menghasilkan radikal superoksida O<sub>2</sub><sup>-</sup> (Pers 3). Sementara itu, hole yang terbentuk di VB bereaksi dengan molekul air menghasilkan radikal hidroksil OH<sup>·</sup> yang sangat reaktif (Pers 4). Radikal superoksida yang terbentuk juga dapat bereaksi dengan molekul air untuk menghasilkan tambahan OH<sup>·</sup> (Pers 5). Radikal hidroksil inilah yang berperan penting dalam mengoksidasi molekul metilen biru (MB) menjadi produk degradasi sederhana seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, atau senyawa organik kecil (Pers 6) (Elshypany et al., 2021).



Hasilnya aktivitas fotokatalis menggunakan konsentrasi *methylene blue* 30 ppm menunjukkan persentase degradasi tertinggi dari material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO adalah 97,6 % yang ditunjukkan oleh **Gambar 4** dan **Gambar 5**, dengan waktu penyinaran selama 120 menit.



**Gambar 4.** Spektrum UV-VIS dan Degradasi Larutan MB 30 ppm

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  (FZ) berhasil disintesis menggunakan metode hidrotermal dengan menggabungkan nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{ZnO}$ . Berdasarkan hasil karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD), dapat disimpulkan bahwa nanokomposit FZ menunjukkan puncak-puncak difraksi yang khas dari kedua fasa, yaitu  $\text{ZnO}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Hal ini mengindikasikan bahwa pembentukan struktur komposit telah berhasil, dengan  $\text{ZnO}$  memiliki puncak dominan akibat intensitas kristalnya yang tinggi. Ukuran kristalit FZ yang diperoleh sebesar 33,99 nm, mengonfirmasi bahwa material berada dalam skala nanokristal. Analisis menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) menunjukkan adanya gugus-gugus fungsi utama yang khas dari logam oksida. Pada spektrum  $\text{ZnO}$  dan FZ, pita serapan yang muncul di sekitar  $440\text{-}450\text{ cm}^{-1}$  dikaitkan dengan getaran regangan dari ikatan  $\text{Zn-O}$ , sedangkan pada FZ juga muncul pita di sekitar  $563\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari ikatan  $\text{Fe-O}$ . Kombinasi kedua gugus ini dalam spektrum FZ mendukung keberhasilan penggabungan kedua material dalam struktur nanokomposit. Uji Fotokatalis menggunakan konsentrasi methylene blue 30 ppm menunjukkan bahwa persentase degradasi tertinggi dari material  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  adalah 97,6 %. Secara keseluruhan, sintesis dan karakterisasi menunjukkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  dapat dibentuk sebagai nanokomposit yang stabil dan memiliki potensi kuat sebagai material aplikasi fotokatalitis.

##### B. Saran

Parameter waktu reaksi dan suhu dalam proses hidrotermal memiliki pengaruh besar terhadap ukuran kristalit dan struktur permukaan nanokomposit. Oleh karena itu, penelitian berikutnya dapat studi optimasi terhadap parameter-parameter ini untuk meningkatkan kualitas dan performa nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  sebagai fotokatalis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Długosz, O., Szostak, K., Krupiński, M., & Banach, M. (2021). Synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  nanoparticles and their application for the photodegradation of anionic and cationic dyes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(3), 561–574. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02852-4>
- Elshypany, R., Selim, H., Zakaria, K., Moustafa, A. H., Sadeek, S. A., Sharaa, S. I., Raynaud, P., & Nada, A. A. (2021). Elaboration of  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  nanocomposite with highly performance photocatalytic activity for degradation methylene blue under visible light irradiation. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101710. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101710>
- Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. (2016). A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. *Journal of Environmental Management*, 182, 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
- Lei, Y., Ding, J., Yu, P., He, G., Chen, Y., & Chen, H. (2020). Low-temperature preparation of magnetically separable  $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}$ -RGO for high-performance removal of methylene blue in visible light. *Journal of*

- Alloys and Compounds*, 821, 153366. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.153366>
- Madhubala, V., & Kalaivani, T. (2018). Phyto and hydrothermal synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO core-shell nanoparticles using *Azadirachta indica* and its cytotoxicity studies. *Applied Surface Science*, 449, 584–590. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.105>
- Magfirawati, N., Dewang, S., Astuty, S. D., & Muliadin. (2022). Indonesian Physical Review. *Indonesian Physical Review*, 5(1), 28–35.
- Mufti, N., Maryam, S., Sari Puspita Dewi, A., Taufiq, A., Kurniawan, R., & Sunaryono. (2019). The effect of Zn-acetate molar variation on phase formation and photocatalytic degradation activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO core-shell nanocomposite. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 694(1), 49–59. <https://doi.org/10.1080/15421406.2020.1723896>
- Munasir, N., Kusumawati, R. P., Kusumawati, D. H., Supardi, Z. A. I., Taufiq, A., & Darminto. (2020). Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/rGO composites from natural sources: Application for dyes color degradation in aqueous solution. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 33(1), 18–27. <https://doi.org/10.5829/ije.2020.33.01a.03>
- Shashank, M., Naik, H. S. B., Nagaraju, G., Keri, R. S., Naik, M. M., & Lingaraju, K. (2021). Facile Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO Nanocomposite: Applications to Photocatalytic and Antibacterial Activities. *Journal of Electronic Materials*, 50(6), 3557–3568. <https://doi.org/10.1007/s11664-021-08816-9>