

A MINI REVIEW: SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ SERTA APLIKASINYA

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ NANOCOMPOSITES AND THEIR APPLICATIONS : A MINI REVIEW

Nina Apriliana¹, Noor Hindryawati^{2*}

¹Inorganic Laboratory, Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Mulawarman University, Samarinda 76116 Indonesia

²Departement of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Science, Mulawarman University, Samarinda 76116 Indonesia

*Corresponding author: hindryawati@gmail.com

ABSTRACT

The $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites have an interesting combination due to their constituent composition. Fe_3O_4 is a ferromagnetic material that can react with magnetic fields, while ZnO is a semiconductor material that has a large band gap and strong photocatalytic properties. This article aims to analyze research on $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites and their applications. Based on several articles, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites can be made using several methods including sonochemical, co-presipitasi, sol-gel, hydrothermal, ultrasonication, solid-state, layer-by-layer self assembly and poliol methods. Characterization can be done using XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscope) and TEM (Transmission Electron Microscope) instruments. The $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites can be used as photocatalysts for dyes, antibiotics and p-nitrophenol. The ability of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites in photocatalysis can vary depending on several factors such as pH, contact time, concentration of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites or degraded substances, etc. In addition, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ nanocomposites can also act as antibacterial agents that have quite good activity on several bacteria, namely Eschericia coli. (-), Bacilis subtilis. (+) and Staphylococcus aureus. (+).

Keywords : Application, Nanocomposite, Synthesis

ABSTRAK

Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ memiliki kombinasi yang menarik dikarenakan komposisi penyusunnya. Fe_3O_4 merupakan material feromagnetik yang dapat bereaksi dengan medan magnet, sedangkan ZnO merupakan material semikonduktor yang memiliki band gap yang besar dan sifat fotokatalitik yang kuat. Artikel ini bertujuan untuk menganalisa penelitian-penelitian mengenai nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ serta aplikasinya. Berdasarkan beberapa artikel, nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dapat dibuat dengan beberapa metode di antaranya metode sonochemical, co-presipitasi, sol-gel, hidrotermal, ultrasonikasi, solid-state, layer-by-layer self assembly dan poliol. Karakterisasi dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD (X-Ray Diffraction), SEM (Scanning Electron Microscope) dan TEM (Transmission Electron Microscope). Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam aplikasinya dapat digunakan dalam zat warna, antibiotik dan p-nitrofenol. Kemampuan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam fotokatalisis dapat berbeda-beda bergantung pada beberapa faktor seperti pH, lama waktu kontak, kosentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ ataupun zat yang didegradasi, dll. Selain itu, nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dapat juga berperan sebagai antibacterial agent yang memiliki aktivitas cukup baik pada beberapa bakteri yaitu Eschericia coli. (-), Bacilis subtilis. (+) dan Staphylococcus aureus. (+).

Kata kunci : Aplikasi, Nanokomposit, Sintesis

PENDAHULUAN

Nanopartikel ialah teknologi yang dalam prosesnya memproduksi suatu partikel dengan ukuran nanometer (skala per seribu mikron) [1]. Nanokomposit ialah sebuah material yang tersusun atas dua atau lebih material penyusun dengan

ukuran material komponen berada pada skala nano (1-100 nm). Metode nanokomposit dapat meningkatkan kualitas dari suatu material, dikarenakan dengan metode ini akan menggabungkan dua material sehingga sifat-sifat

secara substansial seperti fisik, termal dan mekanik dapat berubah dan disesuaikan [2].

Material Fe_3O_4 memiliki sifat ferrimagnetik ketika dalam keadaan bulk. Saat dalam skala nano, Fe_3O_4 akan memiliki sifat superparamagnetik. Pada skala nano, sifat-sifatnya akan berkembang menjadi lebih baik, seperti kemampuan magnetisasi yang lebih tinggi, kompatibilitas biologis dan stabil dalam lingkungan (Lubis, 2022).

Nanopartikel ZnO memiliki sifat semikonduktor anorganik. Biasanya, nanopartikel ZnO memiliki bentuk serbuk, tidak toksik dan memiliki mobilitas elektron serta kestabilan terhadap panas yang tinggi. Material ZnO memiliki *band gap* yang lebar sekitar 3,37 eV dan emisi ultra-violet yang kuat [4].

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam mini review ini, dilakukan studi literatur dengan cara mencari dan mengumpulkan

artikel yang relevan berbasis elektronik yaitu Science Direct dan Google Scholar. Artikel yang memenuhi kriteria ialah artikel yang membahas mengenai sintesis dan karakterisasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ serta aplikasinya. Artikel-artikel yang telah dikumpulkan akan dibandingkan sehingga dapat diperoleh data mengenai metode sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ terbaik. Terdapat 12 artikel yang relevan tema yang akan direview.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Terdapat 12 artikel yang relevan dengan tema yaitu sintesis dan karakterisasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dengan berbagai metode serta aplikasinya. Dapat dilihat pada **Tabel 1**, diperoleh 12 artikel yang diterbitkan pada rentang tahun 2015 sampai dengan tahun 2024.

Tabel 1. Informasi Umum

Tahun	Metode	Aplikasi	Nama Penulis
2015	Sonochemical	Fotokatalisis	[5]
2022	Sonochemical	Fotokatalisis	[6]
2021	Co-presipitasi	Fotokatalisis	[7]
2020	Co-presipitasi	Aktivitas Antibakteri	[8]
2024	Co-presipitasi	Fotokatalisis	[9]
2018	Co-presipitasi	Fotokatalisis	[10]
2024	Sol-gel	Fotokatalisis	[11]
2018	Hidrotermal	Fotokatalisis, Antibakteri	[12]
2022	Ultrasonikasi	Aktivitas Antibakteri	[13]
2021	Solid-state	Fotokatalisis	[14]
2020	Layer-by-layer self-assembly	Fotokatalisis	[15]
2019	Poliol	Fotokatalisis	[16]

Berdasarkan **Tabel 1**, terdapat beberapa metode yang digunakan dalam mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ di antaranya *sonochemical*, presipitasi, *co-presipitasi*, sol-gel, hidrotermal, ultrasonikasi, *solid-state*, *layer-by-layer self-assembly* dan poliol. Pada metode *sonochemical* [5] mendispersikan 1 gram magnetit dengan air. Kemudian, ditambahkan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ke dalamnya. 5 mL amonia dengan konsentrasi 1 M ditambahkan ke dalam larutan campuran saat disonikasi dalam 20 menit dan 100 W. Endapan yang diperoleh disentrifugasi dan dibilas dengan air destilasi. [6] membuat variasi perbandingan berat antara ZnO dan Fe_3O_4 (4:1, 5:1, 6:1 w/w). Masing-masing dimasukkan ke dalam Erlenmeyer dan ditambahkan 100 mL etanol. Kemudian, di *stirrer* dengan kecepatan 300

rpm selama 24 jam pada suhu ruang. Selanjutnya, campuran diultrasonikasi selama 3 jam pada suhu 60°C. Lalu, endapan dikalsinasi selama 2 jam pada suhu 300°C.

Pada metode *co-presipitasi* [7] mencampurkan ZnO - Fe_3O_4 dengan berbagai rasio yaitu 25%; 50% dan 75% Fe_3O_4 (%w). 200 mg ZnO didispersikan dengan air deionisasi menggunakan *stirrer* pada suhu ruang. Kemudian, ditambahkan nanopartikel Fe_3O_4 dengan masing-masing % berat yaitu (50 mg; 100 mg; dan 150 mg) di *stirrer* selama 3 jam. Endapan yang diperoleh dicuci dengan air deionisasi dan dikeringkan di bawah aliran N_2 (nitrogen). [8] sebesar 0,1 g atau 0,2 g nanopartikel Fe_3O_4 didispersikan dalam 150 mL 1-oktil-3-metil imidazolium bromida ([OMIM]Br) 0,12 M. Campuran disonikasi selama

30 menit. Lalu, 1,07 g seng asetat dihidrat ditambahkan ke dalam campuran. Kemudian, ditambahkan 5 mL NaOH 5 M ke dalam campuran dengan diaduk terus menerus pada suhu 96°C selama 1 jam. Setelah dingin pada suhu ruang, endapan dibilas dengan air dan etanol. Kemudian, dipisahkan menggunakan medan magnet eksternal. Lalu, endapan yang diperoleh dikeringkan pada suhu ruang selama 48 jam. [9] mendispersikan ZnO yang telah disintesis dalam 50 mL air deionisasi kemudian di *stirrer* selama 1 jam. $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dengan rasio mol Zn/Fe 1:1 ditambahkan dan di *stirrer* selama 2 jam. NaOH 1 mol/L ditambahkan untuk menjaga kondisi pH 10. Endapan yang diperoleh disaring dan dibilas dengan air deionisasi. Lalu, dikalsinasi selama 3 jam pada suhu 500°C. Hasil akhir endapan dihaluskan dan disimpan. [10] ZnCl_2 0,1 M dan NaOH 0,2 M dilarutkan dengan air deionisasi. Nanopartikel Fe_3O_4 ditambahkan ke dalam campuran dengan rasio volume 1:1 dan di *stirrer* selama 7 jam pada suhu ruang. Endapan yang diperoleh dikumpulkan dengan magnet eksternal dan dibilas dengan air deionisasi. Endapan akhir dioven pada suhu 100°C selama 3 jam.

Pada metode sol-gel [11] mendispersikan 0,2 g nanopartikel ZnO yang telah disintesis dalam 100 mL air deionisasi di *stirrer* selama 1 jam. Kemudian, ditambahkan 0,2 g nanopartikel Fe_3O_4 dan di *stirrer* kembali selama 1 jam. Campuran dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam. Lalu, dikalsinasi pada suhu 450°C selama 3 jam. Endapan akhir dihaluskan.

Pada metode hidrotermal [12] mensuspensi 45 mg nanopartikel Fe_3O_4 dalam 5 mL air deionisasi kemudian disonikasi selama 10 menit. 1,10 g $(\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ dilarutkan dalam 5 mL air deionisasi, kedua larutan tersebut di *stirrer* selama 30 menit. Lalu, ditambahkan 3,2 g NaOH secara perlahan dan di *stirrer* selama 10 menit. Kemudian, 2 mL dari campuran tersebut dimasukkan ke dalam autoklaf. Selanjutnya, ditambahkan dengan 5 mL (2,3 g) polietilen glikol dan 20 mL etanol. Autoklaf dipanaskan pada suhu 140°C selama 6 jam dalam oven. Kemudian, didinginkan pada suhu ruang. Endapan yang diperoleh dibilas beberapa kali menggunakan

campuran air deionisasi dan etanol dengan perbandingan 1:1. Lalu, dikeringkan menggunakan oven.

Pada metode ultrasonikasi [13] membuat variasi perbandingan massa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ sebesar 1:5, 1:10, dan 1:15. 1 g Fe_3O_4 diultrasonikasi dengan frekuensi 40 kHz selama 30 menit. Lalu, ditambahkan ZnO, di *stirrer* hingga larutan tercampur. Kemudian, dipisahkan endapan dengan air dengan disaring. Endapan yang diperoleh dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 90°C.

Pada metode *solid-state* [14] menyiapkan variasi perbandingan massa Fe_3O_4 yaitu (0.2:1 ; 0.4:1 ; 0.6:1 ; 0.8:1 ; 1:1 wt%) dan kemudian dikalsinasi pada suhu 600°C selama 4 jam.

Pada metode *layer-by-layer self-assembly* [15] mendispersikan 10 g mikropartikel ZnO dalam 20 mL larutan sodium dodesil sulfat dengan konsentrasi 8 mol/L, di *stirrer* pada suhu ruang selama 1 jam. Kemudian, campuran dibilas dan disaring sehingga menghasilkan ZnO bermuatan negatif. ZnO yang telah dihasilkan ditambahkan dengan 50 mL suspensi Fe_3O_4 dengan kondisi pH 4,8 dan konsentrasi 7 g/L di *stirrer* pada suhu ruang selama 5 jam. Padatan yang dihasilkan disaring dan dibilas menggunakan etanol. Kemudian, dikeringkan pada suhu 70°C selama 6 jam.

Pada metode poliol [16] mendispersikan 50 mg nanopartikel Fe_3O_4 dalam 10 mL dietilen glikol. Kemudian, ditambahkan 100 mL larutan Zn(II) asetat 90 mM ke dalam dietilen glikol. Campuran di *stirrer* dan dipanaskan pada suhu 180°C selama 2 jam. Lalu, disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 7500 rpm. Lalu, dibilas empat kali menggunakan etanol dan dipisahkan dengan magnet eksternal. Selanjutnya, nanokomposit yang telah diperoleh didispersikan dalam etanol sekitar 1,5%.

Karakterisasi Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Berdasarkan 12 artikel yang telah dikumpulkan terdapat beberapa metode karakterisasi yaitu XRD, SEM, TEM. Dapat dilihat pada **Tabel 2**, sebagai berikut:

Tabel 2. Karakterisasi XRD

Nama Penulis	Posisi Puncak	Bentuk	Pengotor	Ukuran
[5]	Peak ZnO (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) dan (201) puncak berada pada sudut 2 θ : JCPDS No. 79-020	crystalline	-	<50 nm

	Peak Fe_3O_4 : (220), (331), (400), (422), (511), (440), dan (533) puncak berada pada sudut 2θ : JCPDS No. 75-0449			
[6]	Peak ZnO: (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112), (201), (004) dan (202) puncak berada pada sudut 2θ : 31.741°; 34.377°; 36.217°; 47.479°; 56.543°; 62.855°; 66.44°; 67.946°; dan 69.070° JCPDS ZnO no 01-088-0315 Peak Fe_3O_4 : (220), (311), (400), (422), (511), (440) dan (531) puncak berada pada sudut 2θ : 31.42°; 35.51°; 46.98°; 57.04°; and 62.87° JCPDS Fe_3O_4 no 01-076-0704	crystalline	-	150-200 nm
[7]	Peak ZnO (100), (002), (101), (102), (110) dan (103) puncak berada pada sudut 2θ : JCPDS No. 36-1451 Peak Fe_3O_4 : (220), (311), (400), (422), (511) dan (440) puncak berada pada sudut 2θ : JCPDS 19-0629	crystalline	-	22,9 nm
[8]	puncak berada pada sudut 2θ : 31.78, 34.44, 36.26, 47.54, 56.59, 62.85, 67.93 dan 69.06 JCPDS 36-1451	crystalline	-	-
[9]	Peak ZnO: (100), (002), (101), (102), (110), (103) dan (112) puncak berada pada sudut 2θ : 31.7°, 34.4°, 36.2°, 47.5°, 56.6°, 62.8°, and 67.9° JCPDS no 36-1451 Peak Fe_3O_4 : (111), (220), (222), (311), (400), (422), (511), (440) dan (533) puncak berada pada sudut 2θ : 18.2°, 30.1°, 35.4°, 37.0°, 43.1°, 56.9° dan 62.5° JCPDS no 19-0629	crystalline	-	-
[10]	Puncak ZnO berada pada sudut 2θ : 31.72, 34.4, 36.2, 47.49, 56.51, 62.8, 66.28, 67.86 dan 68.86 JCPDS no 36-1451 Puncak Fe_3O_4 berada pada sudut 2θ : 30.07, 35.44, 43.15, 54.6, 56.99 dan 62.6 JCPDS no 19-0629	crystalline	-	34-38 nm
[11]	Peak ZnO: (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), dan (112) puncak berada pada sudut 2θ : 31.7°, 34.4°, 36.2°, 47.5°, 56.6°, 62.8°, 66.3° dan 67.9° Peak Fe_3O_4 : (111), (220) dan (400) puncak berada pada sudut 2θ : 18.02°, 29.4° dan 43.3°	crystalline	-	-
[12]	peaks of magnetite (ZnO) were observed (ICDD: PDF 01-070-8070) peaks of magnetite (Fe_3O_4) were observed (ICDD: PDF 01-071-6336)	crystalline	-	19 nm/ 42.3 nm

[13]	Peak ZnO: (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) dan (201) puncak berada pada sudut 2θ : 31.82°, 34.48°, 36.31°, 47.59°, 56.64°, 62.90°, 66.42°, 67.99°, 69.12°, 72.60° dan 76.99° JCPDS 00-900-4178 Peak Fe ₃ O ₄ : (220), (311), (400), (511) dan (440) puncak berada pada sudut 2θ : 30.11°, 35.58°, 43.10°, 56.91° dan 62.58° JCPDS 00-900-5837	crystalline	-	36,76 nm/ 42 nm
[14]	Peak ZnO: (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) dan (201) puncak berada pada sudut 2θ : 31.7, 34.4, 36.2, 47.5, 56.5, 62.8, 66.3, 67.9 dan 69.0° JCPDS 01-080-4199 Peak Fe ₃ O ₄ : (220), (311), (400), (422), (511) dan (440) puncak berada pada sudut 2θ : 30.00, 35.50, 43.14, 53.44, 57.40 dan 62.58° JCPDS 01-089-1397	crystalline	-	-

Pada **Tabel 2.** 12 artikel melakukan karakterisasi menggunakan instrumen XRD. Pada 12 artikel tersebut pengukuran dilakukan pada sudut 2θ .

Tabel 3. Karakterisasi SEM

Nama Penulis	Bentuk/seragam	Aglomerasi	Ukuran
[5]	heksagonal	Sedikit teraglomerasi	50-150 nm
[6]	heksagonal	-	150-200 nm
[7]	nanorod	-	100 nm
[8]	nanosheet	-	-
[9]	flower (nanosheet)	-	-
[10]	-	-	-
[11]	bola	-	-
[12]	rod (batang)	-	122 nm
[13]	-	-	-
[14]	-	-	-
[15]	rod (batang)	-	-
[16]	-	-	-

Pada **Tabel 3.** Diperoleh 8 artikel yang menggunakan instrumen SEM.

Tabel 4. Karakterisasi TEM

Nama Penulis	Bentuk/seragam	Aglomerasi	Ukuran
[5]	-	-	-
[6]	-	-	-
[7]	nanorod	-	100 nm
[8]	nanosheet	-	<40 nm
[9]	flower (nanosheet)	-	-
[10]	-	-	-
[11]	-	-	-
[12]	rod (batang)	-	12 nm
[13]	-	-	-
[14]	kubik dan bulat, distribusi seragam	-	15±2 nm/ 20±4 nm
[15]	rod (batang)	-	-
[16]	bulat	-	-

Pada **Tabel 4.** Diperoleh 7 artikel yang menggunakan instrumen SEM

Aplikasi Fotokatalisis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Berdasarkan 12 artikel yang telah dikumpulkan, diperoleh 10 artikel dengan aplikasi sebagai adsorben zat yang berbeda, di antaranya:

Tabel 5. Fotokatalisis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Nama Penulis	Sumber Cahaya	%degradasi	Zat yang didegradasi
[5]	Lampu UV	94% ; 57% ; 42% ; 38% ; 18% ; 70% ; 45% ; 40% ; 23%	Methyl orange; Eriochromschwarz T; Eosin Y; Rhodamin B; Methylene blue; Acid brown 14; Acid violet 7; Acid blue 92 dan Acid red 151
[6]	Lampu UV	99,75-99,24%	Metilen biru
[7]	Lampu UV	97%	Metilen biru
[9]	Lampu UV	79%	Rhodamin-B
[10]	Lampu UV	90%	Amoksilin
[11]	Lampu UV	$\geq 70\%$	Logam berat (Pb, Cd, Cu)
[12]	Lampu UV	95,47-89,2%	Metilen biru
[14]	Lampu UV	88,5%	Metilen biru
[15]	Lampu UV	100%	p-nitrofenol
[16]	Lampu UV	100% ; 94% ; 95% ; 98%	Antibiotik

Berdasarkan **Tabel 5.** [5] membuat variasi zat warna, di antaranya Methyl orange; Eriochromschwarz T; Eosin Y; Rhodamin B; Methylene blue; Acid brown 14; Acid violet 7; Acid blue 92 dan Acid red 151. Masing-masing didegradasi selama 60 menit menggunakan lampu UV. Diperoleh %degradasi sebesar 94% ; 57% ; 42% ; 38% ; 18% ; 70% ; 45% ; 40% ; 23%.

[6] mendispersikan nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dalam 100 mL metilen biru di *stirrer* dengan kecepatan 300 rpm pada suhu ruang dengan disinari lampu UV selama 3 jam. Hingga kecepatan pengadukan pada 6000 rpm selama 30 menit. Diperoleh kondisi optimum yang diperlukan ialah menggunakan pH 13 di bawah lampu UV selama 180 menit menghasilkan %degradasi sebesar 99,75-99,24%.

[7] mendispersikan 50 mg nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dalam 200 mL metilen biru dengan kondisi di *stirrer* dan disinari dengan lampu UV selama 30 menit. Kemudian, akan dilakukan perbandingan perlakuan yaitu dilakukan penambahan H_2O_2 dan tidak dilakukan penambahan H_2O_2 . Diperoleh kondisi optimal pada penggunaan nanokomposit $\text{ZnO}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ -50 dengan waktu pengadukan selama 20 menit dan penambahan H_2O_2 , %degradasi sebesar 97%.

[9] melakukan beberapa variasi di antaranya perbandingan massa, pH, suhu dan waktu kalsinasi material. Diperoleh kondisi optimum dengan pH 10, suhu dan waktu kalsinasi material pada suhu 500°C dan 3 jam serta perbandingan massa sebesar

1:1. Diperoleh %degradasi rhodamin-B sebesar 79%.

[10] Kondisi optimum yang ditemukan ialah penggunaan lampu UV dengan waktu reaksi 120 menit serta penambahan radikal $\text{OH}^\cdot$, diperoleh %degradasi di atas 85% yaitu sebesar 90%.

[11] melakukan percobaan dengan memvariasikan massa adsorben, waktu kontak dan suhu. Pada variasi massa adsorben dan waktu kontak berbanding lurus dengan %degradasi di mana semakin tinggi nilai yang digunakan, semakin besar pula %degradasi yang diperoleh sedangkan pada variasi waktu tidak terlalu berpengaruh.

[12] menggunakan 50 mg/L konsentrasi partikel dan 10 mg/L konsentrasi zat warna, di *stirrer* selama 30 menit di bawah lampu UV. Diperoleh efisiensi %degradasi sebesar 95,47-89,2%.

[14] memvariasikan pH, konsentrasi dan penggunaan *trapping agent* sebesar tert-butil alkohol, p-benzokuinon, dan asam disodium etilendiamintetrasetik. Kondisi optimum yaitu pH 6, di bawah lampu UV dan penggunaan radikal $\text{OH}^\cdot$, diperoleh efisiensi %degradasi sebesar 88,5%.

[15] mendispersikan 50 mg nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ ke dalam 200 mL p-nitrofenol di bawah lampu UV, di *stirrer* dan disonikasi dengan kondisi pH 3 selama 5 jam. Pada variasi nanokomposit ZFCM-5 memperoleh %degradasi tertinggi yaitu 100% dalam waktu 60 menit.

[16] mendispersikan 100 mg/L nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ ke dalam 20 mL air, pada pH 7 di *stirrer* selama 4 jam di bawah lampu UV. Diperoleh efisiensi %degradasi pada antibiotik: sulfametoksazol (100%), trimetoprim (94%), eritromisin (95%) dan roksitromisin (98%).

Aplikasi Antibakteri Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Berdasarkan 12 artikel yang telah dikumpulkan, diperoleh 3 artikel dengan aplikasi sebagai *antibacterial agent*, di antaranya:

Tabel 6. Aktivitas Antibakteri Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$

Nama Penulis	Nama Bakteri	Zona Hambat	Kategori
[8]	<i>Eschericia coli.</i> (-)	23	Aktivitas baik
	<i>Bacilis subtilis.</i> (+)	18	
[12]	<i>Eschericia coli.</i> (-)	62%	Aktivitas baik
	<i>Staphylococcus aureus.</i> (+)	83,21%	
[13]	<i>Eschericia coli.</i> (-)	6,63±0,43	Aktivitas baik
	<i>Staphylococcus aureus.</i> (+)	17,13±0,24	

KESIMPULAN

Pada *review* artikel ini, dapat disimpulkan bahwa dalam mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dapat dilakukan menggunakan metode *sonochemical*, *co-presipitasi*, *sol-gel*, hidrotermal, ultrasonikasi, *solid-state*, *layer-by-layer self assembly* dan poliol. Karakterisasi dapat dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*), SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan TEM (*Transmission Electron Microscope*). Aplikasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dapat digunakan dalam fotokatalisis zat warna, antibiotik dan p-nitrofenol. Kemampuan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dalam fotokatalisis dapat berbeda-beda bergantung pada beberapa faktor seperti pH, lama waktu kontak, kosentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ ataupun zat yang didegradasi, dll. Selain itu, nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ dapat juga berperan sebagai *antibacterial agent* yang memiliki aktivitas cukup baik pada beberapa bakteri yaitu *Eschericia coli.* (-), *Bacilis subtilis.* (+) dan *Staphylococcus aureus.* (+).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Agustin Ningrum, Y. Wahyu Permadi, F. Faiqatul Himmah, and F. Ulfa, "Uji Sediaan Lotion Nanopartikel Ekstrak Terong Belanda Sebagai Antioksidan," 2021.
- [2] F. Sakinah, "PENINGKATAN KUALITAS BIOPOLIMER (PLA) NANOKOMPOSIT MODIFIKASI FILLER BENTONIT DAN KITOSAN ANTI-BAKTERI," 2020.
- [3] H. Lubis, "Perbandingan Karakterisasi Morfologi Fe_3O_4 terhadap Fe_3O_4 Merck melalui Metode Kopresipitasi," *Jurnal Institusi Politeknik Ganesha Medan*, vol. 5, no.2, pp. 458-463, Agt. 2022, doi: 10.33395/juripol.v5i2.11775.
- [4] S. Alfarisa, D. A. Rifai, and P. L. Toruan, "Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida (ZnO)," *Risalah Fisika*, vol. 2, no. 2, pp. 53–57, Jul. 2018, doi: 10.35895/rf.v2i2.114.
- [5] J. Saffari, N. Mir, D. Ghanbari, K. Khandan-Barani, A. Hassanabadi, and M. R. Hosseini-Tabatabaei, "Sonochemical synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ magnetic nanocomposites and their application in photo-catalytic degradation of various organic dyes," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 26, no. 12, pp. 9591–9599, Dec. 2015, doi: 10.1007/s10854-015-3622-y.
- [6] N. Saridewi, S. Komala, A. Zulys, S. Nurbayti, L. Tulhusna, and A. Adawiah, "Synthesis of $\text{ZnO-Fe}_3\text{O}_4$ Magnetic Nanocomposites through Sonochemical Methods for Methylene Blue Degradation," *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, vol. 17, no. 3, pp. 650–660, 2022, doi: 10.9767/bcrec.17.3.15492.650-660.
- [7] Y. C. López, P. Acevedo-Peña, G. A. Ortega, and E. Reguera, "Unraveling the Fe_3O_4 NPs role in self-assembled magnetic zinc oxide nanorods for methylene blue photodegradation," *J Photochem Photobiol A Chem*, vol. 421, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.jphotochem.2021.113514.
- [8] E. Ezzatzadeh and Z. Hossaini, "2D $\text{ZnO/Fe}_3\text{O}_4$ nanocomposites as a novel catalyst-promoted green synthesis of novel quinazoline phosphonate derivatives," *Appl Organomet Chem*, vol. 34, no. 7, Jul. 2020, doi: 10.1002/aoc.5596.

- [9] L. Qi *et al.*, “Facile Preparation of Magnetically Separable Fe₃O₄/ZnO Nanocomposite with Enhanced Photocatalytic Activity for Degradation of Rhodamine B,” *Nanomaterials*, vol. 14, no. 11, Jun. 2024, doi: 10.3390/nano14110926.
- [10] S. Dehghan, B. Kakavandi, and R. R. Kalantary, “Heterogeneous sonocatalytic degradation of amoxicillin using ZnO@Fe₃O₄ magnetic nanocomposite: Influential factors, reusability and mechanisms,” *J Mol Liq*, vol. 264, pp. 98–109, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.05.020.
- [11] J. T. Mathew, M. Monday, Y. Azeh, and M. Mohammed, “Adsorptive Removal of Selected Toxic Metals from Pharmaceutical Wastewater using Fe³O₄/ZnO Nanocomposite,” *Dutse Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 9, no. 4a, pp. 236–248, Jan. 2024, doi: 10.4314/dujopas.v9i4a.22.
- [12] P. Goyal, S. Chakraborty, and S. K. Misra, “Multifunctional Fe₃O₄-ZnO nanocomposites for environmental remediation applications,” *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 10, pp. 28–35, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.enmm.2018.03.003.
- [13] A. Dwi Oktavia and L. Rohmawati, “Fabrication of Fe₃O₄/ZnO Nanocomposite by Ultrasonication Wave Method and Its Application for Antibacterial,” *Indonesian Physical Review*, vol. 5, no. 3, pp. 177–187, 2022, doi: 10.29303/ip.
- [14] R. Elshypany *et al.*, “Elaboration of Fe₃O₄/ZnO nanocomposite with highly performance photocatalytic activity for degradation methylene blue under visible light irradiation,” *Environ Technol Innov*, vol. 23, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101710.
- [15] Q. Liu *et al.*, “Magnetic ZnO@Fe₃O₄ composite for self-generated H₂O₂ toward photo-Fenton-like oxidation of nitrophenol,” *Compos B Eng*, vol. 200, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.compositesb.2020.108345.
- [16] L. Fernández *et al.*, “Insight into antibiotics removal: Exploring the photocatalytic performance of a Fe₃O₄/ZnO nanocomposite in a novel magnetic sequential batch reactor,” *J Environ Manage*, vol. 237, pp. 595–608, May 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.02.089.