

SINTESIS DAN KARAKTERISASI MORFOLOGI NANOPARTIKEL MAGNETIK CORE-SHELL $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ MENGGUNAKAN PREKURSOR PASIR BESI

Z. Zerlinda¹, P. U. Prayikaputri^{1*}, I P. T. Indrayana², I N. Simpen¹

¹Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

²Jurusan Fisika FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

*Email: udianiprayika@unud.ac.id

Article Received on: 6th February 2025

Revised on: 8th July 2025

Accepted on: 21th July 2025

ABSTRAK

Telah dilaksanakan sintesis dan karakterisasi partikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ menggunakan metode kopresipitasi dengan prekursor yang bersumber dari material alam berupa pasir besi. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Transmission Electron Microscope-Selected Area Electron Diffraction (TEM-SAED)*, dan *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*. Hasil difraksi sinar-X menunjukkan bahwa partikel magnetik tersebut memiliki fasa ferit spinel kubik dari CoFe_2O_4 dan wurtzit heksagonal dari ZnO . Hasil citra TEM dengan gambar SAED menunjukkan morfologi partikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ berbentuk speris (bulat) dengan butiran kecil dan seragam, kemudian dilakukan analisis ukuran partikel dengan rata rata 14-30 nm. Hasil FTIR menunjukkan adanya serapan gugus fungsi O-H serta peregangan Fe-O, dan Zn-O.

Kata kunci: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$, Kopresipitasi, Partikel magnetik

ABSTRACT

A study has been conducted on the synthesis and characterization of $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ magnetic particles using the coprecipitation method with precursors sourced from natural materials of iron sand. The synthesis products were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Transmission Electron Microscope-Selected Area Electron Diffraction (TEM-SAED), and Fourier Transform Infrared (FTIR). The X-ray diffraction results showed that the magnetic particles have a cubic spinel ferrite phase of CoFe_2O_4 and a hexagonal wurtzite phase of ZnO . The results of the TEM image with an SAED pattern showed that the morphology of the $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ magnetic particles was spherical with small and uniform grains. The particle analysis resulted in a particle size with an average of 14-30 nm. FTIR results revealed the absorption of the O-H functional group as well as stretching of Fe-O and Zn-O.

Keywords: $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$, Coprecipitation, Magnetic particles

PENDAHULUAN

Nanopartikel merupakan partikel berukuran sangat kecil dengan rentang ukuran antara 1 hingga 100 nanometer. Dalam skala ini, sifat fisik, kimia, dan biologis suatu bahan dapat berubah secara signifikan dibandingkan dengan bahan dalam ukuran makro. Hal ini disebabkan oleh rasio perbandingan luas permukaan terhadap volume yang sangat tinggi, serta efek kuantum yang mulai berpengaruh pada skala nano. Beragam jenis nanopartikel yang telah banyak disintesis saat ini meliputi nanopartikel perak, besi, seng, serta logam oksida, termasuk nanopartikel hasil modifikasi seperti nanopartikel magnetik. (Bhushan, 2017).

Nanopartikel magnetik telah menarik perhatian dalam penelitian selama beberapa dekade terakhir karena memiliki sifat khas, seperti ukuran kecil, luas permukaan yang luas, sifat magnetik yang kuat, dan kemampuan untuk menjalankan berbagai fungsi. Salah satu jenis nanopartikel magnetik yang banyak dipelajari adalah cobalt ferrite (CoFe_2O_4), yang dikenal dengan stabilitas termal dan kimianya yang tinggi serta karakteristik magnetik yang kuat. Penggunaan CoFe_2O_4 sebagai material magnetik menjadi sangat relevan untuk berbagai aplikasi, termasuk pemisahan magnetik serta aplikasi luas dalam berbagai bidang teknologi (Shirsath *et al.*, 2015).

Namun, dalam beberapa aplikasi, terutama di bidang fotokatalisis dan sensor

aktivitas fotokatalitik CoFe_2O_4 masih perlu ditingkatkan. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi CoFe_2O_4 dengan material semikonduktor seperti ZnO (*Zinc Oxide*) yang dapat disintesis dalam struktur *core-shell* menjadi pendekatan yang menarik untuk meningkatkan kinerja material ini (Khan *et al.*, 2019). ZnO dikenal memiliki energi celah pita (*band gap*) sekitar 3,37 eV, yang membuatnya sangat efektif dalam reaksi fotokatalitik, terutama dalam degradasi polutan organik dan aplikasi energi terbarukan (Jiang *et al.*, 2016).

Salah satu tantangan dalam sintesis nanopartikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ adalah pemilihan metode yang tepat untuk mendapatkan struktur *core-shell* yang stabil dengan ukuran partikel yang seragam. Berbagai metode sintesis telah dilaporkan, termasuk *sol-gel*, *co-precipitation*, dan *hydrothermal synthesis* (Sonia *et al.*, 2023; Tang and Zang, 2017). Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan prekursor pasir besi, yang merupakan sumber Fe alami yang melimpah dan ekonomis, untuk mensintesis $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$. Penggunaan pasir besi sebagai prekursor dapat menjadi solusi ramah lingkungan dan berkelanjutan dalam produksi nanopartikel magnetik.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi morfologi serta sifat struktural $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ berbasis pasir besi. Analisis fasa kristal dilakukan dengan XRD, morfologi dan ukuran partikel dengan TEM-SAED, dan profil gugus fungsi partikel magnetik dengan FTIR. Peneliti mengantisipasi bahwa temuan penelitian ini akan membantu dalam pembuatan material magnetik multifungsi dengan potensi teknologi yang lebih luas.

MATERI DAN METODE

Bahan

Pasir besi, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, HCl 12M, NaOH 8M, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, Akuades semuanya merupakan bagian dari komponen penelitian. Semua bahan yang digunakan untuk analisis murni dari Merck

Peralatan

Peneliti menggunakan berbagai instrumen seperti timbangan analitik, batang pengaduk, peralatan gelas, penggiling porselin, oven, kertas saring, aluminium foil, dan pengaduk magnet. Di laboratorium gabungan FMIPA Universitas Udayana, analisis dilakukan dengan menggunakan spektroskopi Fourier Transform

Infra-Red (FTIR) Prestige-21 Shimadzu/IR. Di Laboratorium Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang, analisis dilakukan dengan menggunakan Difraksi Sinar-X PANalytical X'Pert Pro (XRD). Di Laboratorium Departemen Kimia Universitas Gadjah Mada, analisis dilakukan dengan menggunakan TEM-SAED.

Cara Kerja

Sintesis CoFe_2O_4

Sintesis partikel magnetik CoFe_2O_4 dari pasir besi dan cobalt klorida heksahidrat ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) menggunakan metode kopresitasi. Pasir besi dilarutkan dalam HCl 12M. Pada suhu 70°C larutan diaduk selama 30 menit dan disaring dengan kertas Whatman. Larutan tersebut dicampur dengan ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0,05M dan diaduk pada suhu kamar selama 15 menit. Selanjutnya ditambahkan setetes demi setetes ke dalam larutan NaOH 8M selama 60 menit pada suhu 75°C dengan pengadukan konstan menggunakan pengaduk magnetik. Proses sintesis ini akan menghasilkan *slurry* partikel magnetik CoFe_2O_4 yang selanjutnya dicuci sebanyak empat kali dengan aquades selama 30 menit dan dipisahkan menggunakan magnet eksternal. Setelah dipanggang pada suhu 100°C selama empat jam, *slurry* dibiarkan mengering dan akhirnya berubah menjadi kepingan hitam. Kepingan tersebut kemudian dihancurkan untuk mendapatkan serbuk CoFe_2O_4 .

Sintesis ZnO dan *core-shell* $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-ZnO}$

Partikel ZnO akan menjadi kulit (*shell*) bagi partikel CoFe_2O_4 yang disintesis menggunakan prekursor seng (II) sulfat heptahidrat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dan ammonium karbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Sintesis partikel magnetik *core-shell* $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-ZnO}$ dibuat dengan mencampurkan bubuk halus CoFe_2O_4 yang sebelumnya telah disintesis dengan seng (II) sulfat heptahidrat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) dan ammonium karbonat $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dan $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ masing-masing dilarutkan kemudian kedua larutan dicampurkan bubuk CoFe_2O_4 dan diaduk pada suhu 95°C selama 60 menit. Konsentrasi CoFe_2O_4 dan ZnO yang digunakan adalah 1:3. Endapan berupa bubur abu-abu dicuci tiga kali dengan aquades masing-masing selama 30 menit dan dipisahkan menggunakan magnet eksternal. *Slurry* dikeringkan selama 4 jam pada suhu 100°C lalu dihaluskan menjadi bubuk halus memakai mortar dan alu untuk memperoleh *powder* $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$

XRD

Kristalinitas dan fasa sampel diidentifikasi melalui difraksi sinar-X. Hasil penelitian menunjukkan radiasi Co-K α , yang diukur menggunakan Co sebagai logam target dengan tegangan pembangkit 40 kV dan arus 30 mA. Dengan sudut 2 θ berkisar antara 5° hingga 90°, pola difraksi menunjukkan kekuatan puncak difraksi. Sifat-sifat CoFe₂O₄/ZnO dapat ditentukan dengan membandingkan difraktogram yang mencakup data karakterisasi XRD dengan standar industri. Persamaan 3.1 menggunakan persamaan Debye-Scherrer untuk menemukan ukuran partikel rata-rata CoFe₂O₄/ZnO yang disintesis. Informasi ini dapat digunakan untuk menginterpretasikan difraktogram.

$$D = (K \lambda) / (\beta \cos \theta) \dots (1)$$

Dalam konteks ini, D adalah ukuran partikel dalam nanometer, λ adalah panjang gelombang radiasi, K adalah konstanta dengan nilai 0,9, dan β adalah lebar setengah puncak atau Full Width at Half Maximum (FWHM) dalam satuan radian. (Aritonang, dkk., 2014).

TEM-SAED

Mikroskop Elektron Transmisi dan Dispersif Energi Spektroskopi TEM-SAED telah dilakukan pada mikroskop Jeol 2011 dilengkapi dengan senjata LaB6 dan beroperasi pada 200 kV. Pembesaran hingga 400000 $\times$ diperlukan untuk mengamati pinggiran kisi dengan mudah (dinamakan sebagai mode “resolusi tinggi”) baik grafit maupun karbon yang tidak teratur.

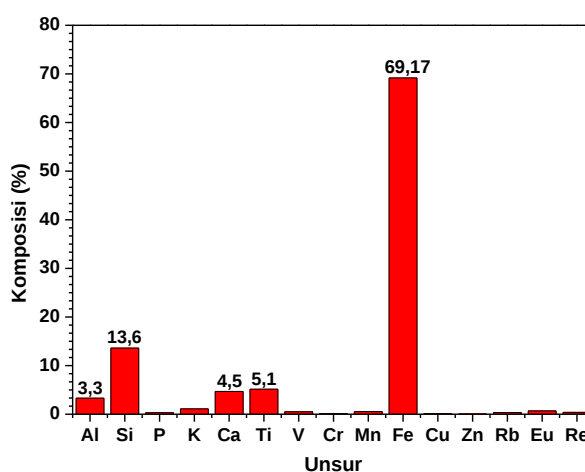
Sampel ditumbuk halus terlebih dahulu dan didispersikan dalam etanol, dan setetes larutan kemudian diendapkan pada jaringan tembaga TEM klasik, yang sebelumnya ditutup dengan lubang film karbon amorf. gambar digabungkan dengan difraksi elektron (SAED) untuk analisis struktur dengan volume kurang dari 1 μ m dalam diameter dan ketebalan 0,1 μ m

FTIR

Karakterisasi FTIR dilakukan pada hasil sintesis CoFe₂O₄/ZnO. Setelah bahan-bahan dihancurkan dengan mortar menjadi bubuk halus, bahan-bahan tersebut digabungkan dengan padatan KBr. Setelah campuran dipindahkan ke preparat, bahan tersebut dipadatkan menjadi pelet menggunakan alat pengepres. Pelet kemudian dikenai analisis FTIR setelah diletakkan pada tempat sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

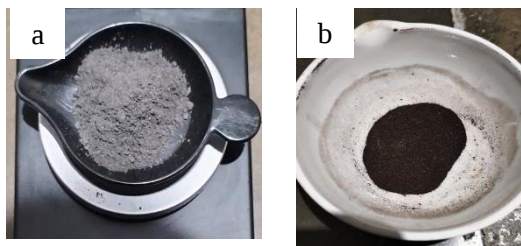
Sintesis core-shell CoFe₂O₄/ZnO dimulai dengan melarutkan Fe³⁺ dari pasir besi. Peneliti dalam penelitian ini mengambil pasir besinya dari Kota Halmahera Utara (Sadjab, dkk., 2020). Pasir besi ini juga sebelum digunakan telah dianalisis menggunakan XRF. Hasil karakterisasi XRF dapat dilihat pada Gambar 1 dengan logam tertinggi adalah Fe sebesar 69,17% dan urutan kedua adalah logam Si dengan persentase sebesar 13,60%, sehingga hasil dari analisis XRF menunjukkan bahwa pasir besi ini dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan partikel magnetik.



Gambar 1. Histogram Komposisi Pasir Besi Menggunakan XRF

Untuk menghasilkan ion Co²⁺, pasir besi pertama-tama dilarutkan dalam HCl 12 M dan diaduk dengan pengaduk magnetik pada suhu 70° selama 30 menit untuk menghasilkan Fe³⁺ dalam bentuk FeCl₃ yang selanjutnya dicampur dengan CoCl₂.6H₂O. Pembentukan partikel-partikel dilakukan dengan meneteskan larutan campuran ke dalam larutan NaOH 8 M, sehingga padatan berwarna gelap mengendap di dasar botol. Langkah tambahan dalam pembuatan kristal hitam adalah memanggang endapan pada suhu 100°C selama empat jam.

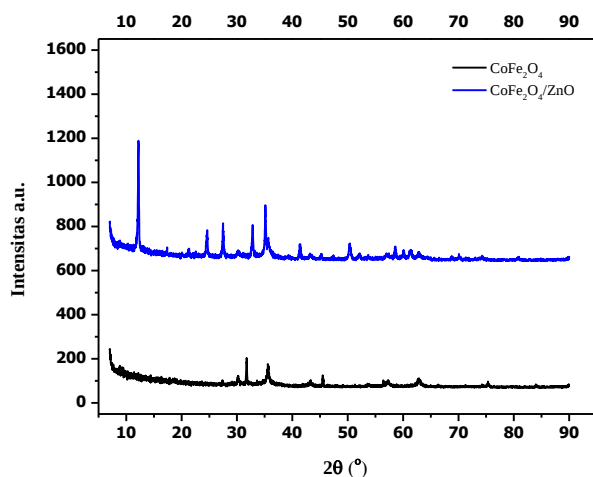
Serbuk CoFe₂O₄ hasil sintesis selanjutnya dicampurkan dengan ZnO untuk menghasilkan partikel magnetik CoFe₂O₄/ZnO dimana ZnO disintesis menggunakan prekursor ZnSO₄.7H₂O dengan (NH₄)₂CO₃ yang sebelumnya telah dilarutkan dengan akuades. Hasil sintesis dapat diperhatikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil sintesis core-shell (a) CoFe_2O_4 (b) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$

Hasil analisis pengujian XRD

Untuk mengetahui apakah partikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ terbentuk, serta untuk mengidentifikasi fase dan kristalinitas sampel yang dihasilkan, pengujian XRD dilakukan. Membandingkan pola difraksi sampel $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ (1:0 dan 1:3) dengan data dari *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola difraksi XRD partikel magnetik CoFe_2O_4 dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$

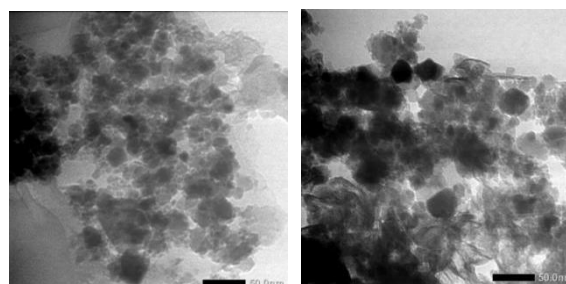
Pola difraksi ini menunjukkan adanya dua fase kristalin, yaitu CoFe_2O_4 dan ZnO , yang dapat diidentifikasi berdasarkan puncak khas masing-masing. Fase CoFe_2O_4 memiliki struktur spinel kubik dengan puncak karakteristik pada posisi $2\theta \approx 30.1^\circ, 35.5^\circ, 43.2^\circ, 53.6^\circ, 57.1^\circ$, dan 62.6° , yang berkaitan dengan bidang kristal (220), (311), (400), (422), (511), dan (440) sesuai referensi JCPDS no. 22-1086.

Fase ZnO memiliki struktur wurtzite heksagonal yang dikonfirmasi melalui puncak difraksi yang khas pada posisi $2\theta \approx 34.4^\circ$ yang sesuai dengan bidang kristal (002) yang mengacu pada referensi JCPDS no. 36-1451. Temuan penelitian ini konsisten dengan temuan Zhou *et al.*

(2018), sehingga dapat dikatakan bahwa sintesis $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ berhasil berdasarkan data XRD. Persamaan (1) dapat digunakan untuk menentukan ukuran kristal partikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$, yaitu 32,1 nm.

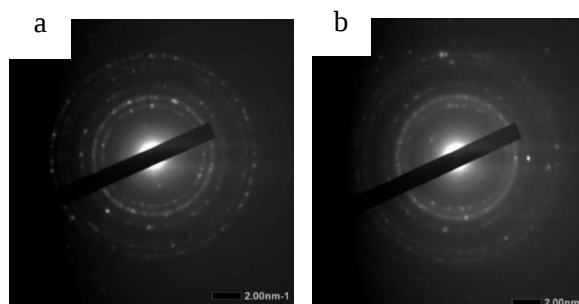
Hasil analisis TEM-SAED

Partikel magnetik CoFe_2O_4 dan $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ dipelajari menggunakan TEM-SAED untuk mengetahui ukuran dan morfologinya. Berdasarkan hasil karakterisasi TEM, partikel CoFe_2O_4 memiliki morfologi sferis (bulat) hingga kuasi-sferis dengan ukuran partikel berkisar antara 10-20 nm. Sedangkan untuk partikel magnetik $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$ menunjukkan komposisi partikel ZnO di bagian partikel CoFe_2O_4 , membentuk struktur heterojunction antara kedua material tersebut. Partikel ZnO cenderung memiliki morfologi batang atau nanopartikel polikristalin dengan ukuran berkisar 20-30 nm, sedangkan partikel CoFe_2O_4 mempertahankan ukuran kecil dalam kisaran 10-20 nm. Hasil pengamatan TEM disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Mikrostruktur core-shell (a) CoFe_2O_4 dan (b) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$

Selain dari hasil XRD bidang kristal juga dapat dikonfirmasi oleh citra *Selected Area Electron Diffraction* (SAED). Hasil SAED Dari pengamatan TEM diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pola SAED core-Shell (a) CoFe_2O_4 dan (b) $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{ZnO}$

Berdasarkan pola SAED, menunjukkan pola difraksi berupa cincin-cincin terang yang diskrit dan teratur, mengindikasikan bahwa CoFe₂O₄ memiliki struktur kristalin yang baik. Cincin-cincin ini mewakili satu bidang kristal sesuai dengan bidang difraksi dari struktur spinel normal CoFe₂O₄, seperti bidang (220), (311), (400), dan (511), yang merujuk pada standar JCPDS No. 22-1086. Struktur kristalin ini menunjukkan bahwa material memiliki kualitas kristalinitas yang tinggi.

Perbedaan pola SAED CoFe₂O₄/ZnO menunjukkan adanya dua fase kristalin yang tumpang tindih. Pola difraksi yang muncul dapat dikaitkan dengan bidang-bidang kristal dari struktur ZnO wurtzite, seperti bidang (002), berdasarkan standar JCPDS No. 36-1451. Sementara itu, bidang difraksi CoFe₂O₄ tetap terlihat, khususnya pada bidang (311) dan (400).

Perbedaan antara CoFe₂O₄ murni dan partikel magnetik CoFe₂O₄/ZnO dapat dilihat dari ukuran partikel serta pola difraksinya. Pada material CoFe₂O₄ murni, sifat magnetiknya lebih dominan karena struktur spinel yang baik dengan ukuran partikel nano. Sementara itu, pada CoFe₂O₄/ZnO, penambahan ZnO tidak hanya meningkatkan ukuran partikel total tetapi juga membentuk struktur heterojunction antara dua fase kristalin.

Ukuran partikel juga dapat ditentukan melalui analisis TEM. Penentuan ukuran partikel dari hasil karakterisasi TEM dilakukan dengan software Image-J dan diperoleh kisaran nilai antara 10 – 30 nm.

Hasil analisis FTIR

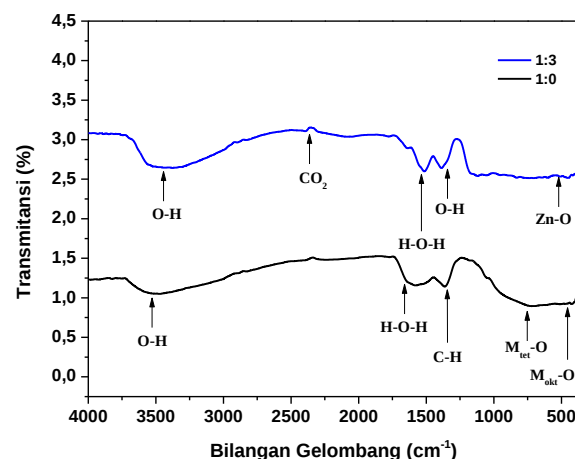
Analisis FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi serta vibrasi ikatan yang hadir dalam sampel, serta mengkonfirmasi keberadaan fasa oksida logam CoFe₂O₄ dan ZnO. Hasil spektra FTIR ditunjukkan pada Gambar 6.

Puncak serapan muncul pada bilangan gelombang sekitar 370 cm⁻¹ - 360 cm⁻¹ akibat getaran (Fe-O)_{tet} dan 742 cm⁻¹ - 720 cm⁻¹ akibat getaran (Fe-O)_{oct} milik CoFe₂O₄. Puncak serapan juga muncul pada kisaran 1552 cm⁻¹ – 1368 cm⁻¹. Puncak serapan tersebut muncul akibat adanya vibrasi ulur gugus fungsi Zn-O.

Pada rentang 3600–2060 cm⁻¹ puncak pada rentang ini berhubungan dengan regangan O-H dari gugus hidroksil (-OH), yang berasal dari molekul air teradsorpsi atau gugus hidroksil pada permukaan material.

Pada sampel 1:0 (CoFe₂O₄ murni), puncak di bawah 700 cm⁻¹ mendominasi, menunjukkan vibrasi ikatan Fe-O dalam struktur spinel CoFe₂O₄. Menurut penelitian Zhou *et al.* (2018), puncak ini merupakan ciri khas vibrasi Zn-O dalam struktur kristalin ZnO, yang semakin dominan seiring dengan peningkatan rasio ZnO.

Rentang 1100–1125 cm⁻¹ puncak pada rentang ini dikaitkan dengan vibrasi simetri M-O-H, yang menunjukkan kemungkinan modifikasi permukaan atau kontaminasi minor dalam proses sintesis.



Gambar 6. Spektrum FTIR partikel magnetik CoFe₂O₄ dan CoFe₂O₄/ZnO

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Menurut hasil penelitian yang terkumpul, peneliti berhasil mensintesis partikel magnetik *core-shell* CoFe₂O₄/ZnO dengan menggunakan teknik kopresipitasi. Hal ini didukung oleh temuan laporan karakterisasi XRD, TEM-SAED, dan FTIR. Hasil XRD menunjukkan pola difraksi yang khas yang dibandingkan dengan JCPDS, TEM-SAED menunjukkan morfologi yang mencirikan adanya partikel magnetik CoFe₂O₄/ZnO dengan bentuk sferis (bulat) dan Spektrum FTIR juga menunjukkan gugus yang mengarah pada material seperti Fe-O dan Zn-O yang berada di daerah fingerprint.

DAFTAR PUSTAKA

- Aritonang, H.F., Onggo, D., Ciptati, C. & Radiman, C.L. 2014. Synthesis of platinum nanoparticles from K₂PtCl₄ Solution using Bacterial Cellulose Matrix. *Journal of Nanoparticles*. 20: 1-6

- Bhushan, B. 2017. *Springer Handbook of Nanotechnology*. Springer
- Dini, E. W. P., dan Wardhani, S. 2014. Degradasi Metilen Biru Menggunakan Fotokatalis ZnO-Zeolit. *Chem. Prog.* 7(1): 29-33
- Jiang, W., Yuan, J., and Zhang, X. 2016. Influence of pH and Light Intensity on the Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants by ZnO-Based Nanocomposites. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4(2): 2225-2234
- Khan, M. A., Khan, M. J., Khan, M., and Naqvi, S. R. 2018. Synthesis and Characterization of CoFe₂O₄ Nanoparticles for Photocatalytic Applications under Visible Light. *Journal of Nanomaterials*. 1-8
- Shirsath, S. R., Patil, S. I., and Gaikwad, A. B. 2015. Enhanced Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants Using Spinel Ferrite Nanoparticles under Visible Light. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 39: 765-774
- Sonia, P., Singh, J., Sharma, S., & Kumar, S. (2023). Recent advances in core-shell nanostructures for photocatalytic applications. *Advanced Functional Materials*, 33(12)
- Suharyadi, E., Muzakki, A., Istiqomah, N.I., Puspitarum, D.L., Purnama, B., and Djuhana, D. 2022. Reusability of Photocatalytic CoFe₂O₄/ZnO Core-Shell Nanoparticles for Dye Degradation. *Journal of Solid State Science and Technology*
- Sadjab, B. A., Indrayana, I. P. T., Iwamoni, S., dan Umam, R. 2020. Investigation of The Distribution and Fe Content of Iron Sand at Wari Ino Beach Tobelo Using Resistivity Method with Werner-Schlumberger Configuration. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*. 9(1): 141-160
- Tang, X., and Zang, Y. (2017). "Synthesis and enhanced magnetic properties of CoFe₂O₄ nanoparticles by hydrothermal method." *Journal of Alloys and Compounds*, 695: 459-466
- Tebriani, S. (2019). "Green synthesis of magnetic nanoparticles using natural iron sand." *Journal of Environmental Science and Technology*, 12: 57-65
- Wu, T., Wang, A., Zheng, L., Tu, Q., Lv, B., Liu, Z., Wu, Z., and Wang, Y. 2019. Evolution of Native Defect in ZnO Nanorods Irradiated with Hydrogen Ion. *Scientific Reports*. 9: 1-11
- Zhou, Y., Zhang, Y., Zhang, Y., Zhang, J., and Tian, W. 2018. Enhanced visible-light photocatalytic activity of ZnO/CoFe₂O₄ composite photocatalyst. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 74: 163-171