JURNAL ATOMIK
Vol. 11, No. 2, Agustus 2026 hal. 28-35
https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JA
E-ISSN 2549-0052

SINTESIS DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT Fe_3O_4-HIDROKSIAPATIT DARI TULANG IKAN BELIDA (*Chitala lopis*)

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Fe_3O_4-HYDROXIAPATITE COMPOSITE FROM BELIDA FISH (Chitala lopis)

Husnul Khotimah Khoirunnisa, Eva Marliana, Teguh WIrawan*

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda 75123, Kalimantan Timur, Indonesia

* **Corresponding Author** : twirawan@fmipa.unmul.ac.id

Article History
Submitted : 27 June 2026 Accepted: 30 July 2026

ABSTRACT

Fish bone waste is a potential biomaterial source for hydroxyapatite production. This study aimed to synthesize and characterize a Fe_3O_4-hydroxyapatite (Fe_3O_4-HAp) composite derived from belida fish bone (*Chitala lopis*). Fe_3O_4 was synthesized using $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ and $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ and subsequently composited with hydroxyapatite by the co-precipitation method. The composite was characterized using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and scanning electron microscopy coupled with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX) and specific surface area analysis using the methylene blue adsorption method. The XRD characterization of hydroxyapatite showed diffraction peaks corresponding to the hydroxyapatite phase ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). FTIR analysis of the composite revealed an absorption band at 563.21 cm^{-1} attributed to the Fe–O functional group and an absorption band at 1080.14 cm^{-1} corresponding to the PO_4^{3-} group. SEM images showed a denser and more homogeneous particle distribution, indicating that Fe_3O_4 particles were successfully deposited on the hydroxyapatite surface, while EDX analysis confirmed the presence of iron with a mass percentage of 13.95%. The specific surface area of the Fe_3O_4-HAp composite was 88.10 m^2/g, higher than that of hydroxyapatite (78.84 m^2/g). These results indicate the successful deposition of Fe_3O_4 onto the hydroxyapatite surface and the formation of a Fe_3O_4-HAp composite. The synthesized composite exhibited magnetic properties and shows potential for various environmental applications.

Keywords: Hydroxyapatite, Fe_3O_4, Composite, Belida Fish Bones, Characterization.

1. PENDAHULUAN

Limbah tulang ikan merupakan biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber hidroksiapatit karena mengandung kalsium, fosfor, karbonat, magnesium, natrium, dan kalium. Tulang ikan belida (*Chitala lopis*) yang belum dimanfaatkan secara optimal dapat menjadi bahan baku hidroksiapatit yang ekonomis dan ramah lingkungan.[1,2] Hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) merupakan material kalsium fosfat yang banyak digunakan sebagai biomaterial, katalis, dan adsorben.[3] Kandungan kalsium dan fosfor yang tinggi menjadikan tulang ikan sebagai bahan yang potensial untuk sintesis hidroksiapatit.[4] Berbagai metode sintesis telah dikembangkan, salah satunya metode pengendapan.[5]

Namun, hidroksiapatit memiliki keterbatasan berupa luas permukaan yang relatif rendah, kecenderungan aglomerasi, dan sulit dipisahkan dari media cair.[6] Pembentukan komposit dengan magnetit (Fe_3O_4) dapat mengatasi keterbatasan tersebut karena Fe_3O_4 memiliki sifat magnetik, stabil secara kimia, dan dapat mempermudah pemisahan material setelah

This is an open-access article under the CC–BY-SA license.

digunakan.[7,8] Komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit juga dilaporkan memiliki kemampuan adsorpsi yang baik serta berpotensi digunakan untuk menghilangkan zat warna dan logam berat.[8,9,10,11]

Pemanfaatan tulang ikan belida sebagai sumber hidroksiapatit dalam sintesis komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit dari tulang ikan belida menggunakan metode kopresipitasi dengan karakterisasi XRD, FTIR, dan SEM-EDX. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan nilai guna limbah tulang ikan sebagai material komposit magnetik yang berpotensi diaplikasikan pada bidang lingkungan.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

2.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi seperangkat alat gelas, neraca analitik, *hot plate stirrer*, *magnetic stirrer*, oven, *furnace*, pH universal, *centrifuge*, dan spektrofotometer UV-Vis. Karakterisasi material dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) IRPrestige-21 SHIMADZU, *X-Ray Diffraction* (XRD) Bruker 06 phaser, dan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX) Thermo Fisher Scientific Phenom P-Series Serial Number MVE086679-60391-S Netherlands Manufactured.

2.1.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi sampel tulang ikan belida, *aluminium foil*, akuades, $FeSO_4.7H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$, H_2SO_4 96%, NH_4OH 25%, dan larutan *methylen blue* 50 mg/L.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Preparasi Tulang Ikan Belida

Tulang ikan belida dicuci bersih dan direbus untuk dipisahkan dari daging yang masih tersisa. Tulang ikan belida kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2 jam. Setelah itu, tulang ikan belida dipotong kecil-kecil dan dihaluskan

2.2.2 Pembuatan Arang Tulang Ikan Belida

Tulang ikan belida yang sudah halus sebanyak 80 gram dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam. Arang tulang ikan belida didinginkan.[12]

2.2.3 Pembuatan Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

Serbuk arang tulang ikan belida sebanyak 50 gram digerus menggunakan lumpang dan alu, lalu diayak dengan ayakan 200 *mesh*. Serbuk arang yang sudah diayak, dikalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 900°C selama 4 jam. Hidroksiapatit tulang ikan belida didinginkan.[13]

2.2.4 Pembuatan Adsorben Magnetit (Fe_3O_4)

Padatan $FeCl_3.6H_2O$ sebanyak 6 gram dilarutkan dalam 200 mL akuades. Sebanyak 5,8 gram $FeSO_4.7H_2O$ dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL dan dilarutkan dalam 100 mL akuades panas, ditambahkan beberapa tetes H_2SO_4 pekat hingga agak bening (jika kecoklatan ditambah lagi beberapa tetes H_2SO_4 pekat). Kemudian dicampur larutan $FeCl_3$ dan larutan $FeSO_4$ sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, ditambahkan NH_4OH 25% sebanyak 200 mL tetes demi tetes menggunakan corong pisah (suhu dijaga 70°C selama 3 jam). Campuran disaring dan residu dicuci dengan akuades hingga pH sama dengan pH akuades (pH 6) dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Magnetit diayak menggunakan ayakan 200 mesh.[14]

2.2.5 Pembuatan Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

Padatan $FeCl_3.6H_2O$ sebanyak 6 gram dilarutkan dalam 200 mL akuades. Sebanyak 5,8 gram $FeSO_4.7H_2O$ dimasukkan ke dalam gelas kimia 250 mL dan dilarutkan dalam 100 mL akuades panas, ditambahkan beberapa tetes H_2SO_4 pekat hingga agak bening (jika kecoklatan ditambah lagi beberapa tetes H_2SO_4 pekat). Kemudian dicampur larutan $FeCl_3$ dan larutan

 ISSN 2549-0052

$FeSO_4$ sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Pada wadah lain hidroksiapatit tulang ikan belida sebanyak 10 gram dimasukkan ke dalam akuades sebanyak 400 mL dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan dengan suhu 70°C. Selanjutnya ditambahkan campuran $FeCl_3$ dan $FeSO_4$, dan NH_4OH 25% sebanyak 200 mL tetes demi tetes menggunakan corong pisah (suhu dijaga 70°C selama 3 jam). Campuran disaring dan residu dicuci dengan akuades hingga pH sama dengan pH akuades (pH 6) dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida diayak menggunakan ayakan 200 mesh.[14]

2.2.6 Uji Karakterisasi

Karakterisasi material dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan kimia adsorben yang disintesis. Hidroksiapatit tulang ikan belida dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengidentifikasi struktur dan fase kristalnya. Selanjutnya, hidroksiapatit, magnetit (Fe_3O_4), dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) guna mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada masing-masing material. Morfologi permukaan serta komposisi unsur hidroksiapatit dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX).

2.2.7 Penentuan Luas Permukaan Menggunakan Methylene Blue

Hidroksiapatit tulang ikan belida dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida masing-masing sebanyak 0,1 gram dimasukkan ke dalam 50 mL larutan methylene blue 50 mg/L dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Kemudian, larutan dipisahkan dan filtrat diuji konsentrasi menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis pada panjang gelombang 615 nm.[15]

2.3 Analisis Data

Data hasil konsentrasi akhir dianalisis untuk menentukan luas permukaan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida menggunakan **Persamaan 1 dan 2**.[15]

$$Xm = (Co - Cs) \times \frac{V}{m} \qquad \textbf{Persamaan 1}$$

$$S = \frac{Xm \times N \times A}{Mr} \qquad \textbf{Persamaan 2}$$

Keterangan:
S = Luas permukaan (m2/g)
Xm = Kapasitas adsorpsi *methylene blue* (mg/g)
V = Volume larutan *methylene blue* (mL)
Co = Konsentrasi *methylene blue* awal (mg/L)
Cs = Konsentrasi *methylene blue* akhir (mg/L)
m = Berat sampel (g)
N = Bilangan Avogadro (6,02 × 1023 mol-1)
A = Luas penampang 1 molekul *methylene blue* (197 × 10-20 m2/molekul)
Mr = Massa relatif *methylene blue* (319,86 g/mol)

 ISSN 2549-0052

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Adsorben Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida



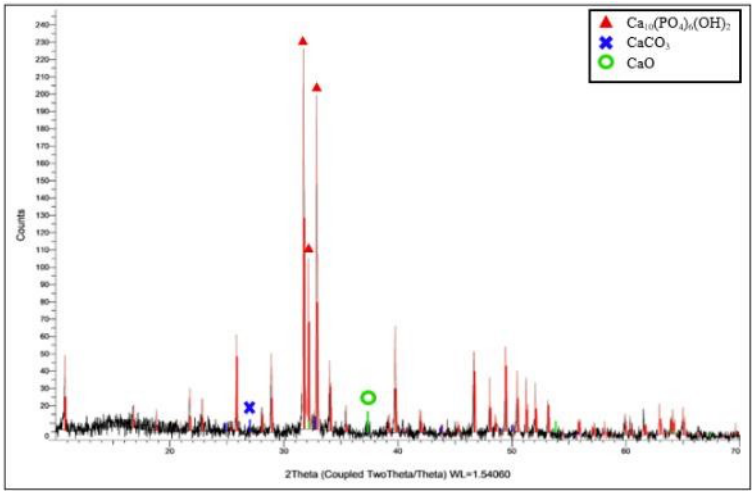
(a) (b) (c)

Gambar 1. (a) Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida, (b) Magnetit (Fe_3O_4), (c) Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

Berdasarkan **Gambar 1**, preparasi tulang ikan belida menghasilkan hidroksiapatit berwarna putih (**Gambar 1a**) dengan massa sebesar 32 g dari 50 g arang tulang yang digunakan, sehingga diperoleh rendemen sebesar 64%. Sintesis magnetit menghasilkan serbuk berwarna hitam (**Gambar 1b**) dengan massa sebesar 12 g. Selanjutnya, komposit 10 g hidroksiapatit dengan magnetit menghasilkan 21 g komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit berwarna coklat (**Gambar 1c**) dengan rendemen sebesar 95,45%. Selain itu, respons material terhadap medan magnet menunjukkan bahwa sifat magnetik Fe_3O_4 tetap dipertahankan pada komposit.

3.2 Hasil Analisa *X-Ray Diffractometer* (XRD)

Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui fasa hidroksiapatit yang terbentuk dalam adsorben pada material hidroksiapatit tulang ikan belida dimana hasil dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kurva Difraktogram Sinar-X Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

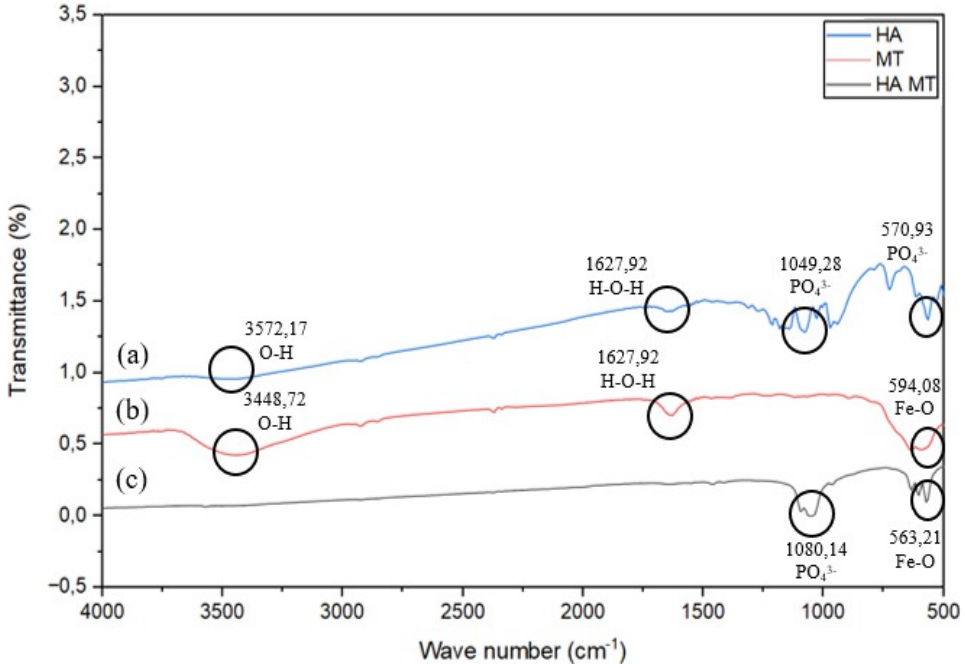
Berdasarkan **Gambar 2**, hasil karakterisasi XRD dari bahan hidroksiapatit tulang ikan belida menunjukkan puncak yang tinggi terdapat pada sudut 2θ yaitu 31,74°; 32,87°; 33,99° yang masing-masing berkaitan dengan bidang kristal (211), (300), dan (202) yang sesuai dengan standar ICSD (*Inorganic Crystal Structure Database*) No 01-075-3727 yang menunjukkan adanya senyawa hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$).[16] Intensitas puncak yang tajam menunjukkan tingkat kristalinitas yang cukup tinggi. Selain fase hidroksiapatit,

 ISSN 2549-0052

terdeteksi pula fase minor berupa kalsium karbonat ($CaCO_3$) tipe vaterit dan CaO dalam jumlah kecil. Keberadaan fase sekunder tersebut kemungkinan berasal dari sisa mineral alami tulang ikan atau proses dekomposisi termal selama kalsinasi.

3.3 Hasil Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Analisa FTIR bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada hidroksiapatit tulang ikan belida, magnetit (Fe_3O_4) dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida. Hasil karakterisasi dapat dilihat pada **Gambar 3**.



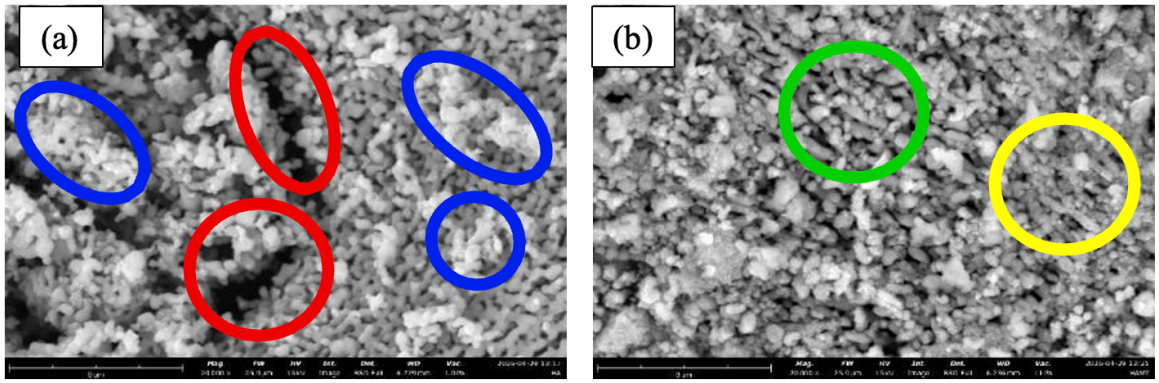
Gambar 3. Spektrum FTIR (a) Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida, (b) Magnetit (Fe_3O_4), (c) Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

Berdasarkan **Gambar 3**, spektrum FTIR hidroksiapatit tulang ikan belida menunjukkan pita serapan dengan pita maksimum pada bilangan gelombang 1049,28 cm^{-1} yang berada pada daerah 960–1100 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur gugus fosfat (PO_4^{3-}). Pita serapan lain pada daerah 560–605 cm^{-1} dengan pita maksimum pada 570,93 cm^{-1} diatribusikan pada vibrasi tekuk (ν_4) gugus fosfat (PO_4^{3-}), yang merupakan salah satu penyusun struktur hidroksiapatit.17 Puncak lebar di sekitar 3572 cm–1 selain menunjukkan adanya OH dari hidroksiapatit, juga menandakan adanya air yang terjebak. Hal ini diperkuat dengan munculnya puncak pada 1627,92 cm–1 yang merupakan energi vibrasi *bending* H_2O.5 Spektrum FTIR magnetit (Fe_3O_4) menunjukkan adanya pita serapan dengan pita maksimum pada bilangan gelombang 594,08 cm^{-1}. Pita serapan tersebut berada pada daerah 500–700 cm^{-1} yang merupakan karakteristik vibrasi ulur (*stretching vibration*) ikatan Fe–O. Keberadaan pita serapan tersebut menunjukkan bahwa magnetit berhasil terbentuk. Selain itu, terdapat pita serapan lebar pada daerah 3200–3600 cm^{-1} dengan pita pada 3448,72 cm^{-1} yang diatribusikan pada vibrasi ulur gugus O–H yang berasal dari air teradsorpsi atau gugus hidroksil pada permukaan magnetit.18 Hal ini diperkuat dengan munculnya puncak pada 1627,92 cm–1 yang merupakan energi vibrasi *bending* H_2O.5 Pada komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit diperoleh puncak serapan pada 563,21 cm^{-1} yang berada pada daerah 500–700 cm^{-1}. Daerah ini dikaitkan dengan vibrasi ikatan Fe–O dari magnetit. Selain itu, daerah 460–1100 cm^{-1} dengan puncak pada 1080,14 cm^{-1} menunjukkan vibrasi gugus fosfat (PO_4^{3-}). Keberadaan kedua pita serapan tersebut mengindikasikan bahwa fase magnetit dan hidroksiapatit telah berhasil bergabung membentuk komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit.

 ISSN 2549-0052

3.4 Hasil Analisa SEM-EDX

Analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*)-EDX (*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*) dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan dan komposisi unsur penyusun material pada hidroksiapatit tulang ikan belida dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida. Hasil karakterisasi SEM dapat dilihat pada **Gambar 4** dan identifikasi unsur penyusun pada masing-masing sampel berdasarkan hasil analisis EDX disajikan pada **Tabel 1**.



Gambar 4. Hasil SEM dengan Perbesaran 20.000x **(a)** Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida, **(b)** Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida

Tabel 1. Hasil Karakterisasi *Energi Dispersive X-Ray* (EDX)

	Persen Massa (%)	
Elemen	**Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida**	**Komposit Fe_3O_4-Hidroksiapatit Tulang Ikan Belida**
O	11,37	6,07
P	21,40	21,84
Ca	67,23	58,14
Fe	-	13,95
Total	100,00	100,00

Berdasarkan **Gambar 4.(a)**, hidroksiapatit tulang ikan belida menunjukkan morfologi berupa agregat partikel dengan adanya rongga atau pori di antara partikel yang ditunjukkan oleh lingkaran merah akibat hilangnya komponen organik selama proses kalsinasi sehingga menyisakan struktur mineral hidroksiapatit.[19] Agregat partikel hidroksiapatit yang ditunjukkan oleh lingkaran biru didukung oleh hasil EDX yang menunjukkan dominasi unsur Ca (67,23%) dan P (21,40%) sebagai penyusun utama hidroksiapatit.[3] Pada **Gambar 4.(b)**, daerah yang ditunjukkan oleh lingkaran kuning menunjukkan susunan partikel yang lebih rapat, yang diduga terjadi akibat deposisi partikel Fe_3O_4 pada permukaan hidroksiapatit.[20] Hal ini diperkuat oleh hasil EDX yang menunjukkan keberadaan unsur Fe sebesar 13,95% pada komposit. Selain itu, daerah yang ditunjukkan oleh lingkaran hijau memperlihatkan adanya aglomerasi partikel yang lebih besar akibat interaksi magnetik antarpartikel Fe_3O_4.[21]

3.5 Penentuan Luas Permukaan Adsorben

Penentuan luas permukaan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida dilakukan menggunakan metode *methylene blue* pada panjang gelombang 615 nm untuk mengetahui kemampuan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida dalam menjerap zat warna. Hasil penentuan luas permukaan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida yaitu sebesar 88,10 m^2/g. Sedangkan pada hidroksiapatit tulang ikan belida didapatkan luas permukaan sebesar 78,84 m^2/g.

 ISSN 2549-0052

4. KESIMPULAN

Hasil karakterisasi pada XRD timbul puncak difraksi hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Pada FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi Fe–O dan O-H pada magnetit, gugus PO_4^{3-} dan O–H pada hidroksiapatit serta teridentifikasi kombinasi gugus dari kedua material tersebut pada komposit. Pada SEM-EDX terlihat memiliki permukaan dengan partikel yang lebih rapat dan merata yang mengindikasikan bahwa partikel Fe_3O_4 berhasil terdeposisi di permukaan hidroksiapatit dan dibuktikan dengan adanya keberadaan unsur Fe sebesar 13,95% pada komposit. Karakteristik luas permukaan hidroksiapatit tulang ikan belida sebesar 78,8422 m^2/g dan komposit Fe_3O_4-hidroksiapatit tulang ikan belida yaitu sebesar 88,0959 m^2/g.

DAFTAR PUSTAKA

1. Metekohy, J. G., Buyang, C. G., & Tumalang, L. Pengaruh Penggunaan Abu Tulang Ikan Cakalang Pada Perkerasan Lentur. *Jurnal Simetrik (Sipil, Mesin, Listrik)* **2025,** 15(1), 81-91.
2. Sinulingga, K., & Sirait, M. *Hidroksiapatit dari Batu Kapur dan Aplikasi*.; Medan: Yayasan Kita Menulis. **2021.**
3. Amalia, V., Hadisantoso, E. P., Hidayat, D., Diba, R. F., Dermawan, M. F., & Tsaniyah, S. W. Isolasi dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Limbah Tulang Hewan. *Alchemy : Journal of Chemistry* **2017**, 5(4), 114-119.
4. Amalia, V., Nisa, A. R., & Hadisantoso, E. P. Tinjauan Nanokomposit Hidroksiapatit/Fe_3O_4 Sebagai Adsorben Logam Berat pada Air. *Gunung Djati Conference Series* **2022**, 7(1), 8-24.
5. Windarti, T., Setiadi, A. S., Fibriani, F., Azis, I. M. A., Arofah, S. Z., & Putri, S. A. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dengan Metode Sol-Gel Sebagai Bahan Dasar Adsorben. *Greenspehere: Journal of Environmental Chemistry* **2023**, 3(2), 14-17.
6. Alzaky, Z., & Sedyadi, E. Pengaruh Penambahan Lempung dengan Jenis Berbeda Pada Sintesis Komposit Magnetit (Fe_3O_4) Lempung. *Indonesian Journal of Materials Chemistry* **2024**, 4(1), 23-29.
7. Ginting, R. A. P., & Maulida. Pengaruh Komposisi Pengisi Serta Tekanan Hot Press Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Poliester Berpengisi Nano Partikel Zinc Oxide (Zno). *Jurnal Teknik Kimia* **2019**, 8(1), 32-36.
8. Fisli, A., Safitri, R. D., Nurhasni, N., & Deswita, D. Analisis Struktur dan Porositas Komposit Fe_3O_4-Karbon Aktif dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben Magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia* **2018**, 19(4), 179-187.
9. Mangkuasih, S. M., & Rohmawati, L. Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (*Hypostomus plecostomus*) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* **2021**, 9(2), 229-236.
10. Nurhayati, S., Shofiyani, A., & Zaharah, T. A. Sintesis Magnetit dari Limbah Tambang Bauksit Menggunakan Templat Cetyltrimethylammoniumbromide. *Jurnal Kimia dan Kemasan* **2021**, 43(2), 143-151.
11. Zhang, F.; Ma, B.; Jiang, X.; Ji, Y. Dual Function Magnetic Hydroxyapatite Nanopowder for Removal of Malachite Green and Congo Red from Aqueous Solution. *Powder Technol* **2016**, *302*, 207–214.
12. Lestari, S., Nurhadi, M., Kusumawardani, R., Saputro, E., Pujisupiati, R., Muskita, N. S., Fortuna, N., Purwandari, A. S., Aryani, F., Lai, S. Y., & Nur, H. Comparative Adsorption Performance of Carbon-containing Hydroxyapatite Derived Tenggiri (Scomberomorini) and Belida (Chitala) Fish Bone for Methylenee Blue. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* **2020**, 17(3), 565-576.
13. Kusumawardani, R., Noviyanti, A. R., Nurhadi, M., & Umar, A. A. Effect of Preparation Acetone on Fish Bones Synthesized Through Sintering Method to Improve Hydroxyapatite Characteristics. al Kimiya: *Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan* **2023**, 10(2), 87-97.
14. Sivaprakash, S., Kumar, P. S., & Krishna, S. K. Adsorption study of various dyes on Activated Carbon Fe_3O_4 Magnetic Nano Composite. *International Journal of Applied Chemistry* **2017**, 13(2), 255-266.

 ISSN 2549-0052

15. Reknosari, E., Wirawan, T., & Koesnarpadi, S. Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Komposit Fe_3O_4-Arang Aktif Ampas Kopi. *Jurnal Atomik* **2021**, 6(2), 82-89.
16. Zein, U. R., Anggresani, L., & Yulianis. Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Hidroksiapatit Berpori Tulang Ikan Tenggiri Dengan Proses Sol-Gel. *Chempublish Journal* **2020**, 5(1), 46-56.
17. Ibrahim, M., Labaki, M., Giraudon, J. M., & Lamonier, J. F. Hydroxyapatite, a multifunctional material for air, water and soil pollution control: A review. *Journal of Hazardous Materials* **2020**, 383(1), 1-18.
18. Elashmawi, I. S., & Alghamdi, H. M. A. Fabrication, Characterization, Spectroscopic, and Magnetic Properties of Polyaniline/Magnetite (PANi/Fe_3O_4) Nanocomposites. *Optical and Quantum Electronics* **2024**, 56(1090), 1-11.
19. Kumar, K. C. V., Subha, T. J., Ahila, K. G., Ravindran, B., Chang, S. W., Mahmoud, A. H., Mohammed, O. B., & Rathi, M. A. Spectral Characterization of Hydroxyapatite Extracted from Black Sumatra and Fighting Cock Bone Samples: A Comparative Analysis. *Saudi Journal of Biological Sciences* **2021**, 28(1), 840-846.
20. Linh, H. D., Anh, C. P., Viet, C., Phong, L. T. H., & Hoan, N. X. Preparation of the Magnetic Composite Materials Fe_3O_4/Hydroxyapatite and Its Application for Removal of 2,4-D and Chrysoidine Crystal. *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology* **2021**, 37(1), 35-43.
21. Jakab, M., Bodogh, M. E., Mako, E., Kovacs, K., Orban, S., & Horvath, B. Influence of Wet Chemical Processing Conditions on Structure and Properties of Magnetic Hydroxyapatite Nanocomposites. *Processing and Application of Ceramics* **2020**, 14(4), 321-328.