

DOI: <https://doi.org/10.21009/JRSKT.102.01>

Sintesis dan Karakterisasi NiFe₂O₄ Sebagai Adsorben Amonia dalam Air Akuarium Budidaya Ikan Mas (*Cyprinus carpio*)

Fadhil Hisyam Murtadha^{1,*}, Erdawati¹, Jan Setiawan²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur 13220, Indonesia

²Pusat Riset Material Maju, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Gedung 224, Jl. Kw. Puspiptek, Kota Tangerang Selatan, Jawa Barat 15314, Indonesia

*Email: fadhilhisyam@gmail.com

Informasi Artikel

Diterima: 22/07/2024

Direvisi: 13/08/2024

Online: 13/08/2024

Edisi: 13/08/2024

Abstrak

Nikel ferit (NiFe₂O₄) termasuk adsorben magnetik yang baik untuk polutan organik dan anorganik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan nikel ferit dalam mengadsorpsi amonia dalam air akuarium budidaya ikan mas (*Cyprinus carpio*). Nikel ferit disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal. Pola difraksi XRD dan spektrum FTIR mengonfirmasi terbentuknya senyawa NiFe₂O₄. Hasil karakterisasi SAA menunjukkan NiFe₂O₄ memiliki tipe isoterm adsorpsi tipe IV (mesopori), dengan luas permukaan Brunauer Emmet Teller (BET) sebesar 18,6431 m²/g. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan bentuk morfologi dari NiFe₂O₄ adalah bulat dan homogen. Data EDX menunjukkan bahwa unsur Ni, Fe dan O sebagai komponen penyusun utama bagi NiFe₂O₄. Nikel ferit hasil sintesis digunakan sebagai adsorben NH₃ dalam air akuarium dan mampu mengadsorpsi NH₃ sebesar 0,26 mg/L dengan efisiensi 96% dalam waktu 3 jam. Model kinetika yang sesuai untuk adsorpsi NH₃ dalam air akuarium terhadap NiFe₂O₄ adalah model kinetika orde kedua semu dengan nilai koefisien determinasi (R² = 0,9835), yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi antara NH₃ dalam air akuarium dengan NiFe₂O₄ adalah adsorpsi secara kimia

Kata kunci: adsorben magnetik, amonia, nikel ferit (NiFe₂O₄)

Abstract

Nickel ferrite (NiFe₂O₄) is a good magnetic adsorbent for organic and inorganic pollutants. This study aims to determine the ability of nickel ferrite in adsorbing ammonia in goldfish (*Cyprinus carpio*) aquarium water. Nickel ferrite was synthesized by using hydrothermal method. XRD diffraction pattern and FTIR spectrum confirmed the formation of NiFe₂O₄ compound. SAA characterization results show NiFe₂O₄ has a type IV

(mesoporous) adsorption isotherm, with a Brunauer Emmet Teller (BET) surface area of 18.6431 m²/g. SEM characterization results show the morphological shape of NiFe₂O₄ is round and homogeneous. EDX data showed that Ni, Fe and O elements as the main constituent components for NiFe₂O₄. The synthesized nickel ferrite was used as NH₃ adsorbent in aquarium water and was able to adsorb NH₃ of 0.26 mg/L with 96% efficiency within 3 hours. The appropriate kinetic model for the adsorption of NH₃ in aquarium water on NiFe₂O₄ is a pseudo second-order kinetic model with a coefficient of determination (R² = 0.9835), which indicates that the adsorption process between NH₃ in aquarium water and NiFe₂O₄ is chemical adsorption.

Keywords: amonia, magnetic adsorbent, nikel ferit (NiFe₂O₄)

Pendahuluan

Amonia dianggap sebagai kontaminan utama dalam air akuarium. Efek toksik dari keberadaannya di dalam air mengakibatkan penurunan pertumbuhan ikan, ketahanan ikan terhadap penyakit, dan kandungan oksigen dalam air (Guo et al., 2023; Ma et al., 2024). Amonia dalam air akuarium berasal dari hasil metabolisme ikan yang berupa urin atau feses ikan, serta sisa makanan ikan yang mengendap di dasar akuarium (Edwards et al., 2024). Mengurangi kadar amonia dalam air akuarium sangat penting untuk menjaga lingkungan air yang sehat, terutama karena efek toksiknya pada ikan dan organisme air lainnya (Farrag et al., 2024). Kadar amonia yang tinggi bersifat racun bagi ikan, menyebabkan stres dan kerusakan jaringan insang, yang mengganggu kemampuan mereka untuk bernapas dan dapat menyebabkan ikan mengalami kematian (John et al., 2020). Hal ini sangat mengkhawatirkan karena ikan mengandalkan insang mereka untuk pertukaran oksigen, dan gangguan apa pun dapat mengancam jiwa (Kämmer et al., 2024). Kadar ammonia sendiri di dalam air akuarium dapat diminimalkan untuk mengurangi berkurangnya kualitas air akuarium (Nagaraju et al., 2023), salah satunya dengan cara menggunakan filter (Zhang et al., 2023). Filter yang biasa digunakan adalah filter fisik berupa kapas atau spons. Namun filter ini hanya mampu menyaring partikel-partikel padat yang berukuran besar dan belum mampu mengurangi kadar amonia secara efektif. Filter lainnya adalah filter biologi. Filter ini memanfaatkan bakteri untuk mengubah amonia menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Namun filter ini juga belum dapat dikatakan efektif, karena kemampuannya dalam memecah amonia terbatas dan membutuhkan waktu yang lama. Filter lain yang dapat digunakan adalah filter kimia. Filter ini memanfaatkan adsorben untuk mengadsorpsi senyawa tertentu, seperti amonia. Adsorben yang biasa digunakan sebagai filter air akuarium secara komersial adalah karbon aktif. Namun, karbon aktif memerlukan biaya regenerasi yang mahal (Thamer et al., 2024). Karbon aktif juga memiliki permukaan non-polar sehingga tidak sesuai untuk mengadsorpsi kontaminan anorganik dan polutan organik polar dengan berat molekul rendah (Cantoni et al., 2024).

Filter yang ideal harus memiliki beberapa karakteristik, di antaranya kinerja tinggi, adsorpsi cepat, biaya murah, tidak beracun, mudah digunakan, dan mudah dilakukan pemisahan. Filter generasi baru yang dikembangkan sejauh ini adalah filter magnetik yang memiliki luas permukaan tinggi, mudah dipisahkan, dan efisiensi tinggi (Wang et al., 2021; Sahami et al., 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, spinel ferit (SF) telah menjadi pilihan pertama sebagai filter magnetik untuk aplikasi pengolahan air. Bahan ini menunjukkan magnetisasi dan koersivitas saturasi yang tinggi, sehingga cocok untuk proses penyaringan magnetik (Grecu et al., 2024). Spinel ferit yang banyak dikembangkan, salah satunya adalah nikel ferit (NiFe₂O₄). Nikel ferit termasuk adsorben yang baik untuk polutan organik dan anorganik (Xian et al., 2024). Untuk adsorbat jenis kation, telah dilaporkan bahwa nikel ferit berhasil menurunkan kadar Cu(II) sebesar 92,55%, dan Zn (II) sebesar 99,91% (Rafie et al., 2024). Selain memiliki kapasitas adsorpsi yang besar, nikel ferit dapat dipisahkan dengan mudah

dari larutan menggunakan magnet regenerasi adsorben nikel ferit juga mudah dan murah (Singh et al., 2024). Analisis struktur dan sifat NiFe_2O_4 , bahan ferit nikel, melibatkan beberapa teknik teknik canggih. Ada beberapa teknik yang dapat digunakan yaitu : X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Transmission Electron Microscopy (TEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Vibrating Sample Magnetometry (VSM), Thermogravimetric Analysis (TGA), X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) dan Brunauer-Emmett-Teller (BET) Surface Area Analysis (Watanabe et al., 2024). Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan, ide yang ditawarkan pada penelitian ini adalah mensintesis nikel ferit (NiFe_2O_4) sebagai filter untuk mengadsorpsi senyawa amonia dalam air akuarium budidaya ikan mas (*Cyprinus carpio*).

Metode

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas (*pyrex*), spatula, statif, timbangan elektronik, oven, *magnetic stirrer*, teflon beserta autoklaf hidrotermal, indikator pH universal, pH meter, akuarium, pompa, media filter, filter matala, filter spons, alat karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) PANalytical, FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) Prestige-21, SAA (*Surface Area Analyzer*) Micromeritics ASAP 2020, SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope–Electron Energy Dispersive X-Ray*) JSM-6510LA, dan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu Biospec 1601. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pakan ikan dengan kadar protein 30-35% produksi PT. Central Proteina Prima Tbk., aseton teknis, aquademin, bahan-bahan *pro analysis Merck KGaA* buatan Jerman, di antaranya; $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH, NH_3 25%, dan reagen Nessler.

Sintesis Nikel Ferit

Metode sintesis NiFe_2O_4 mengacu pada metode Wei dan Huo dengan beberapa parameter yang berbeda (Kumar et al., 2023) . Mula-mula sebanyak 0,02 mol $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 0,04 mol $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (rasio mol Ni:Fe 1:2) dilarutkan dalam 40 mL aquades. Kemudian larutan NaOH 3 M sebanyak 53,5 mL ditambahkan secara perlahan tetes demi tetes ke dalam larutan sambil diaduk magnet. Suspensi yang dihasilkan dimasukkan ke dalam teflon 150 mL kemudian dilakukan autoklaf hidrotermal. Autoklaf ditutup rapat dan dipanaskan menggunakan oven pada suhu 180°C selama 10 jam. Setelah reaksi selesai, serbuk yang dihasilkan disaring, dicuci dengan aquades dan aseton untuk menghilangkan pengotor, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 6 jam. Nikel ferit yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD, FTIR, SAA dan SEM-EDX.

Uji Pendahuluan Adsorpsi Larutan NH_3 dengan NiFe_2O_4

Sebanyak 0,1 g NiFe_2O_4 dimasukkan ke dalam masing-masing gelas kimia 50 mL yang berisi 25 mL larutan NH_3 dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm. Masing-masing variasi konsentrasi larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Selanjutnya larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat hasil adsorpsi diambil sebanyak 10 mL dan ditambahkan dengan reagen Nessler sebanyak 0,2 mL, kemudian kandungan NH_3 diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 416,8 nm. Larutan blanko yang digunakan adalah aquades sebanyak 10 mL dan ditambahkan dengan reagen Nessler sebanyak 0,2 mL. Kapasitas adsorpsi NiFe_2O_4 terhadap larutan NH_3 didapatkan melalui persamaan:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} V \quad (1)$$

Uji Konsentrasi NH_3 dalam Air Akuarium

Akuarium yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran 40 x 28 x 25 cm dan diisi dengan 19 L air mineral isi ulang (1 galon). Akuarium diisi dengan 5 ekor ikan mas dengan panjang rata-rata 5-6 cm. Pompa air yang digunakan memiliki kekuatan maksimum debit air 1000 L/jam untuk sirkulasi

air di dalam akuarium. Pemberian pakan ikan dilakukan sampai kenyang selama dua kali sehari, yaitu pada pukul 9.00 dan 17.00 WIB. Pakan ikan yang tidak termakan selama 5 menit setelah pakan diberikan diambil kembali agar tidak menambah konsentrasi NH_3 secara berlebihan (Godoy-Olmos et al., 2022). Sebelum uji adsorpsi filter, pompa air tetap dinyalakan untuk menjaga tingkat oksigen terlarut. Setiap 3 jam sekali selama 24 jam, air akuarium diambil sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam botol. Sampel air yang telah diambil langsung dimasukkan ke dalam lemari es. Setiap pengambilan sampel diikuti juga dengan pengukuran pH. Setiap 10 mL sampel air akuarium dengan variasi waktu pengambilan yang berbeda, masing-masing ditambahkan dengan 0,2 mL reagen Nessler, kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 416,8 nm.

Uji Adsorpsi NH_3 dalam Air Akuarium dengan NiFe_2O_4

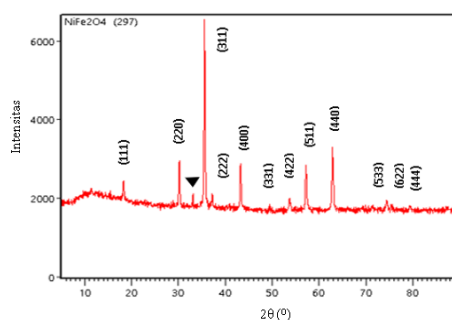
Sebanyak 10 g serbuk NiFe_2O_4 hasil sintesis dibungkus dengan menggunakan kertas saring no. 41, kemudian diselipkan ke dalam filter spons agar kertas saring tidak mudah rusak saat terkena aliran air dari pompa. Selanjutnya filter tersebut dimasukkan ke dalam media filter yang susunannya terdiri dari filter matala (untuk menyaring partikel padat), dan filter NiFe_2O_4 yang berada di dalam kertas saring dan filter spons. Percobaan adsorpsi dilakukan setelah 24 jam pemberian makan ikan pertama dengan menyirkulasikan air menggunakan pompa melalui media filter. Air akuarium keluaran filter diambil sebanyak 10 mL setiap 30 menit sekali selama 6 jam dan dimasukkan ke dalam botol, kemudian dimasukkan ke dalam lemari es. Setiap pengambilan sampel diikuti juga dengan pengukuran pH. Setiap 10 mL sampel air dengan variasi waktu pengambilan yang berbeda, masing-masing ditambahkan 0,2 mL reagen Nessler, kemudian diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 416,8 nm. Efisiensi kemampuan adsorben NiFe_2O_4 dalam mengadsorpsi NH_3 dalam air akuarium didapatkan melalui persamaan:

$$E = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \cdot 100\% \quad (2)$$

Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi Nikel Ferit

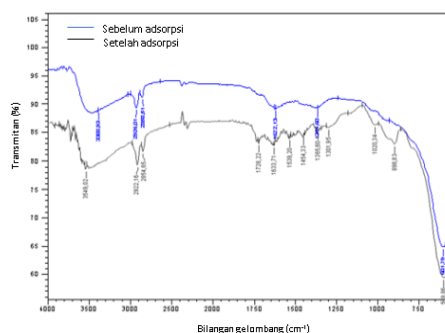
Pola difraksi sinar-X dari sampel hasil sintesis menunjukkan keberadaan fase NiFe_2O_4 dengan kristalinitas tinggi. Puncak difraksi muncul pada sudut $2\theta \sim 18,32^\circ; 30,18^\circ; 35,57^\circ; 37,21^\circ; 43,24^\circ; 49,53^\circ; 53,68^\circ; 57,21^\circ; 62,83^\circ; 74,42^\circ; 75,43^\circ$ dan $79,43^\circ$ dengan bidang orientasi masing-masing (111), (220), (311), (222), (400), (331), (422), (511), (440), (533), (622) dan (444). Bidang tersebut sesuai dengan pola standar yang tersedia dalam basis data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS: 86-2267) [13]. Namun, pada NiFe_2O_4 hasil sintesis ini terdapat satu puncak dengan intensitas rendah pada sudut 2θ sebesar $33,07^\circ$ antara bidang (220) dan (311), yang berasal dari keberadaan sejumlah kecil pengotor $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Ukuran kristalit dan parameter kisi NiFe_2O_4 ditentukan dengan metode *Rietveld* menggunakan program HighScorePlus. Nilai rata-rata ukuran kristal yang dihitung adalah 50 nm, dengan nilai parameter kisi kubik sebesar 8,34 Å.



Gambar 1. Pola Difraksi XRD NiFe_2O_4 Hasil Sintesis

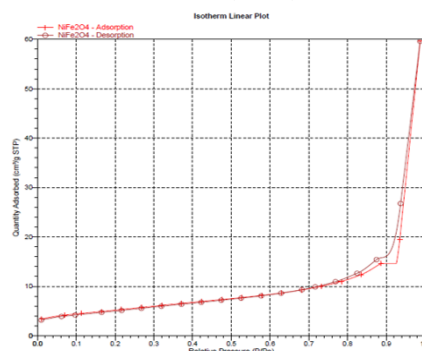
Pembentukan struktur NiFe_2O_4 didukung oleh spektrum FTIR. Puncak serapan sekitar $\sim 400\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi antara logam-oksida (M-O), yang mengonfirmasi terbentuknya spinel nikel ferit (NiFe_2O_4). Puncak serapan $418,55\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi regangan antara Ni-O, sedangkan puncak serapan $601,79\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan Fe-O. Puncak serapan $3388,9\text{ cm}^{-1}$ dan $1622,1\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya regangan gugus -OH dan tekukan H-O-H dengan intensitas kecil. Hal ini menunjukkan masih terdapatnya molekul H_2O pada sampel NiFe_2O_4 dalam jumlah sedikit. Puncak serapan yang terjadi pada $2858,5\text{ cm}^{-1}$ dan 2926 cm^{-1} disebabkan oleh mode peregangan intra-molekul yang muncul dari proporsi ikatan hidrogen yang berbeda dalam kerangka struktur ikatan tetrahedral (Boutwell et al., 2022).

Setelah digunakan sebagai filter akuarium, adsorben NiFe_2O_4 diuji kembali menggunakan FTIR. Berdasarkan spektrum pada Gambar 2, terdapat beberapa perbedaan dari spektrum FTIR NiFe_2O_4 sebelum dan setelah adsorpsi. Diantaranya terdapat puncak kecil yang khas pada serapan $3549,02\text{ cm}^{-1}$, puncak ini diduga menunjukkan adanya vibrasi regangan N-H. Hal ini didukung oleh puncak pada serapan $1539,2\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya vibrasi tekuk NH_3 . Pada puncak serapan $898,83\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi tekuk antara Ni- NH_3 . Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui bahwa adsorpsi NH_3 dalam air akuarium oleh NiFe_2O_4 merupakan adsorpsi kimia. Selain itu, naiknya intensitas pada puncak serapan sekitar $\sim 600\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan interaksi antara M-O semakin besar. Berdasarkan hal ini dapat diketahui bahwa adanya logam-logam dalam air akuarium yang ikut terikat pada adsorben NiFe_2O_4 , dan menunjukkan bahwa adsorben magnetik (NiFe_2O_4) dapat mengadsorpsi multipolutan.



Gambar 2. Spektrum FTIR NiFe_2O_4 Sebelum dan Setelah Adsorpsi NH_3 dalam Air Akuarium

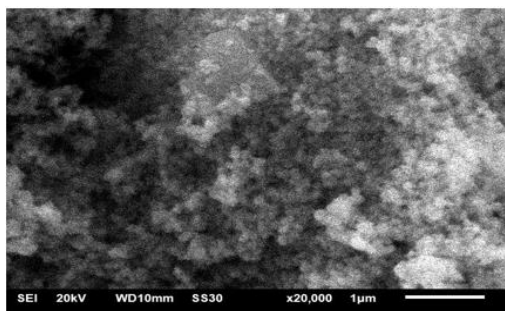
Grafik isoterm adsorpsi-desorpsi N_2 dari sampel NiFe_2O_4 pada Gambar 3 menunjukkan bahwa NiFe_2O_4 termasuk kedalam isoterm tipe IV dengan grafik adsorpsi-desorpsi yang saling melebar dan menyempit pada P/P_0 0,68–0,98. Distribusi ukuran pori pada NiFe_2O_4 sekitar $\sim 20,9\text{-}21,2\text{ nm}$, menunjukkan distribusi pori di sini tidak teratur sehingga tergolong mesopori. Ukuran pori 2-50 nm termasuk dalam kategori mesopori. Analisis hasil adsorpsi nitrogen menyatakan bahwa NiFe_2O_4 memiliki luas permukaan Brunauer Emmet Teller (BET) sebesar $18,6431\text{ m}^2/\text{g}$.



Gambar 3. Grafik Adsorpsi-Desorpsi N_2 pada NiFe_2O_4

Sampel yang telah disintesis, dianalisis menggunakan SEM pada perbesaran yang berbeda setelah sampel dilapisi emas tipis. Gambar SEM menunjukkan struktur NiFe_2O_4 memiliki bentuk morfologi bulat yang seragam. Selanjutnya, NiFe_2O_4 dikarakterisasi menggunakan EDX untuk mengetahui komposisi unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Hasil karakterisasi EDX menunjukkan bahwa

Ni, Fe, dan O menjadi komponen penyusun utama untuk nikel ferit (NiFe_2O_4), yakni dengan komposisi massa Ni (18,73 %), Fe (43,33 %), dan O (37,94 %).



Gambar 4. Hasil Karakterisasi NiFe_2O_4 menggunakan SEM pembesaran 20000x

Isoterm Adsorpsi

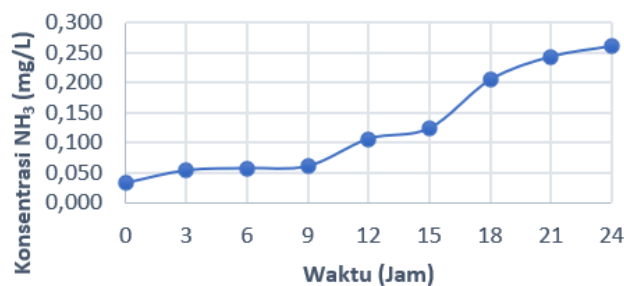
Model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich digunakan untuk menggambarkan adsorpsi larutan NH_3 standar terhadap NiFe_2O_4 pada suhu kamar. Hasil plot isoterm Langmuir memiliki nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,808$), sedangkan plot dari isoterm Freundlich memiliki nilai koefisien determinasi ($R^2 = 0,829$). Berdasarkan nilai R^2 dapat dilihat bahwa adsorpsi larutan NH_3 standar terhadap NiFe_2O_4 cenderung mengikuti model isoterm adsorpsi Freundlich. Hal ini menunjukkan bahwa situs adsorpsi pada permukaan adsorben bersifat heterogen (energi adsorpsi berbeda di setiap situs) dan kemungkinan bahwa adsorpsi NH_3 terhadap NiFe_2O_4 membentuk lapisan *multilayer*. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan Langmuir, adsorben NiFe_2O_4 hasil sintesis pada penelitian ini memiliki kapasitas adsorpsi maksimum terhadap NH_3 pada *monolayer* sebesar 8,15 mg/g.

Tabel 1. Parameter Isoterm Adsorpsi

Model Isoterm	Parameter	Nilai
Langmuir	q_m (mg/g)	8,15
	K_L (L/mg)	0,0566
	R^2	0,8083
Freundlich	K_F ((mg/g)(mg/L) ^{1/n})	2,2829
	1/n	0,8166
	R^2	0,8294

Efisiensi Adsorpsi NH_3 dalam Air Akuarium terhadap NiFe_2O_4

Konsentrasi NH_3 dan pH pada air akuarium diamati setiap 3 jam sekali setelah pemberian makan ikan pertama kali. Pada menit ke-0, konsentrasi NH_3 sebesar 0,033 mg/L dengan nilai pH 7,91. Pada 9 jam pertama, konsentrasi NH_3 dalam air akuarium masih di bawah 0,1 mg/L. Berdasarkan grafik pada Gambar 5, konsentrasi NH_3 terus meningkat dengan berjalannya waktu. Hal ini disebabkan oleh aktivitas mikroba, feses yang dikeluarkan oleh ikan mulai membusuk dan menghasilkan NH_3 . Setelah 24 jam, konsentrasi NH_3 mencapai 0,26 mg/L dengan nilai pH air 8,51. Konsentrasi NH_3 tersebut cukup berbahaya, karena telah melewati batas toleransi konsentrasi amonia sebesar 0,02 mg/L (PP No. 82 Tahun 2001), dan pada $\text{pH} > 7$ menyebabkan amonia dalam bentuk yang tidak terionisasi (toksik) terdapat dalam jumlah yang lebih banyak.

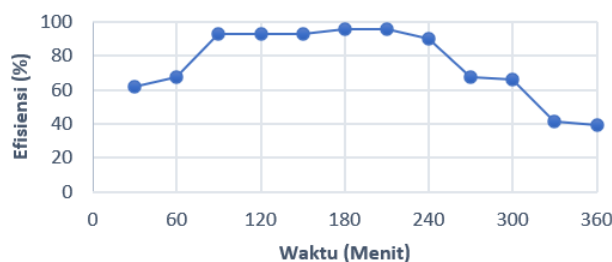


Gambar 5. Grafik Konsentrasi NH₃ Dalam Air Akuarium Setiap 3 Jam

Setelah dilakukan pengamatan terhadap konsentrasi NH₃ selama 24 jam, filter NiFe₂O₄ dipasang dan dilakukan pengamatan terhadap konsentrasi NH₃ setiap 30 menit selama 6 jam. Pada 30 menit pertama, Efisiensi adsorpsi NH₃ mencapai 62%. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, selama 3 jam, efisiensi adsorpsi NH₃ cenderung naik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben, maka efisiensi adsorpsi semakin besar. Efisiensi maksimum dari adsorben NiFe₂O₄ terjadi pada menit ke-180 dan 210, yakni mencapai 96%. Pada 30 menit berikutnya, efisiensi adsorpsi NiFe₂O₄ mulai menurun. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben NiFe₂O₄ sudah mulai jenuh, karena konsentrasi NH₃ dalam air akuarium terus bertambah, sementara situs aktif dari adsorben NiFe₂O₄ sebagian besar sudah terpenuhi oleh NH₃.

Tabel 2. Parameter Kinetika Adsorpsi

Model Kinetika	Parameter	Nilai
Orde Pertama Semu	k_1 (1/menit)	0,0233
	R^2	0,8455
Orde Kedua Semu	k_2 (g/mg menit)	0,0003
	R^2	0,9835



Gambar 6. Grafik Efisiensi Adsorpsi NH₃ dalam Air Akuarium terhadap NiFe₂O₄

Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi NH₃ dalam air akuarium terhadap adsorben NiFe₂O₄ ditentukan pada saat menit ke-0 hingga menit ke-180 saat tercapainya kesetimbangan adsorpsi, yakni pada saat efisiensi bernilai 96%. Penentuan model kinetika orde pertama semu dan orde kedua semu ditentukan dengan persamaan regresi linier. Berdasarkan Tabel 2, nilai koefisien determinasi model kinetika orde pertama semu sebesar 0,8455, dan orde kedua semu sebesar 0,9835. Hal ini menunjukkan bahwa model kinetika yang sesuai untuk adsorpsi NH₃ dalam air akuarium terhadap NiFe₂O₄ adalah model kinetika orde kedua semu. Model kinetika ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi antara NH₃ dalam air akuarium dengan NiFe₂O₄ adalah adsorpsi secara kimia, yang melibatkan kekuatan valensi melalui pembagian atau pertukaran elektron antara adsorben dengan adsorbat. Hal ini juga didukung oleh spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Kesimpulan

Sintesis NiFe₂O₄ (nikel ferit) menggunakan metode hidrotermal dengan suhu 180 °C selama 10 jam telah berhasil dilakukan. Pola difraksi XRD menunjukkan keberadaan fase NiFe₂O₄ dengan kristalinitas tinggi. Spektrum FTIR mengonfirmasi bentuk spinel dari NiFe₂O₄. Data SAA menunjukkan NiFe₂O₄ memiliki luas permukaan Brunauer Emmet Teller (BET) sebesar 18,6431 m²/g. Data SEM menunjukkan bentuk morfologi dari NiFe₂O₄ adalah bulat dan homogen. Data EDX menunjukkan bahwa unsur Ni, Fe dan O sebagai komponen penyusun utama bagi NiFe₂O₄.

Konsentrasi NH₃ dalam air akuarium setelah 24 jam adalah 0,26 mg/L dengan nilai pH 8,51. Setelah filter NiFe₂O₄ dipasang, efisiensi adsorpsi maksimum terjadi pada menit ke-180 dan 210 dengan nilai efisiensi 96%. Model kinetika yang sesuai untuk adsorpsi NH₃ dalam air akuarium terhadap NiFe₂O₄ adalah model kinetika orde kedua semu dengan nilai koefisien determinasi (R² = 0,9835), yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi NH₃ dalam air akuarium oleh NiFe₂O₄ adalah adsorpsi secara kimia.

Daftar Pustaka

- Boutwell, D., Pierre-Jacques, D., Cochran, O., Dyke, J., Salazar, D., Tyler, C., & Kaledin, M. (2022). Intramolecular Proton Transfer in the Hydrogen Oxalate Anion and the Cooperativity Effects of the Low-Frequency Vibrations: A Driven Molecular Dynamics Study. *The Journal of Physical Chemistry A*, 126(4), 583–592. <https://doi.org/10.1021/acs.jpca.1c09686>
- Cantoni, B., Ianes, J., Bertolo, B., Ziccardi, S., Maffini, F., & Antonelli, M. (2024). Adsorption on activated carbon combined with ozonation for the removal of contaminants of emerging concern in drinking water. *Journal of Environmental Management*, 350, 119537–119537. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119537>
- Edwards, T. M., Puglis, H. J., Kent, D. B., Durán, J. L., Bradshaw, L. M., & Farag, A. M. (2024). Ammonia and aquatic ecosystems - A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Science of the Total Environment*, 907. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167911>
- Farrag, M. M. S., Abdelmgeed, A. M., Moustafa, M. A., & Osman, A. G. M. (2024). Improving the water quality of fish aquaculture effluents after treatment by microalgae. *Desalination and Water Treatment*, 317, 100155–100155. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100155>
- Godoy-Olmos, S., Jauralde, I., Monge-Ortiz, R., Milián-Sorribes, M. C., Jover-Cerdá, M., Tomás-Vidal, A., & Martínez-Llorens, S. (2022). Influence of diet and feeding strategy on the performance of nitrifying trickling filter, oxygen consumption and ammonia excretion of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) raised in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture International*, 30(2), 581–606. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00821-3>
- Greco, I., Enache, A.-C., Pascariu, P., Bele, A., Samoila, P., Cojocaru, C., & Harabagiu, V. (2024). Modified spinel ferrite-based composite membranes with highly proficient photocatalytic activity. *Surfaces and Interfaces*, 51, 104536–104536. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.104536>
- Guo, M., Xu, Z., Zhang, H., Mei, J., & Xie, J. (2023). The Effects of Acute Exposure to Ammonia on Oxidative Stress, Hematological Parameters, Flesh Quality, and Gill Morphological Changes of the Large Yellow Croaker (*Larimichthys crocea*). *Animals*, 13(15), 2534–2534. <https://doi.org/10.3390/ani13152534>
- John, E. M., Krishnapriya, K., & Sankar, T. V. (2020). Treatment of ammonia and nitrite in aquaculture wastewater by an assembled bacterial consortium. *Aquaculture*, 526, 735390. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735390>
- Kämmer, N., Reimann, T., & Braunbeck, T. (2024). Neurotoxic pesticides change respiratory parameters in early gill-breathing, but not in skin-breathing life-stages of zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic Toxicology*, 267, 106831–106831. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.106831>

- Kumar, N., Ansari, M. R., Khaladkar, S., Maurya, O., Peta, K. R., Kalekar, A., Singha, M. K., & Kumar, J. (2023). NiFe₂O₄ Nanoparticles as Highly Efficient Catalyst for Oxygen Reduction Reaction and Energy Storage in Supercapacitor. *Materials Chemistry and Physics*, 316. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4600180>
- Ma, Y., Liu, Y., Sun, J., Min, P., Liu, W., Li, L., Yi, P., Guo, R., & Chen, J. (2024). Ecological risks of high-ammonia environment with inhibited growth of *Daphnia magna*: Disturbed energy metabolism and oxidative stress. *The Science of the Total Environment*, 948, 174959–174959. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174959>
- Nagaraju, T. V., Chi, S. M., Chaudhary, B., Prasad, Ch. D., & Gobinath, R. (2023). Prediction of ammonia contaminants in the aquaculture ponds using soft computing coupled with wavelet analysis. *Environmental Pollution*, 331, 121924–121924. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121924>
- Rafie, S. F., Abu-Zahra, N., & Sabetvand, R. (2024). Enhancing Zn (II) Recovery Efficiency: Bi-Divalent Nickel-Cobalt Ferrite Spinel Ni_{1-x}Co_{1-x}Fe₂O₄ as a Game-Changing Adsorbent—an Experimental and Computational Study. *Chemosphere*, 362, 142702–142702. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142702>
- Sahami, M., Jamaati, J., & Bahiraei, M. (2021). A computational model for predicting filtration performance of 3D-magnetic filters under different channel geometries, particle sizes and flow conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 611, 125844. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125844>
- Singh, R., Jasrotia, R., Sharma, D., Singh, J., Mittal, S., & Singh, H. (2024). Recyclable magnetic nickel ferrite–carboxymethyl cellulose–sodium alginate bio-composite for efficient removal of nickel ion from water. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1–12. <https://doi.org/10.1080/01932691.2024.2320302>
- Thamer, A. A., Mustafa, A., Bashar, H. Q., Van, B., Le, P.-C., Jakab, M., Rashed, T. R., Kułacz, K., Hathal, Mustafa M., Somogyi, V., & Nguyen, D. D. (2024). Activated carbon and their nanocomposites derived from vegetable and fruit residues for water treatment. *Journal of Environmental Management*, 359, 121058–121058. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121058>
- Wang, C., Hu, Z., Yang, L., Zhang, C., Zhang, L., Ji, S., Xu, L., Li, J., Hu, Y., Wu, D., Chu, J., & Sugioka, K. (2021). Magnetically driven rotary microfilter fabricated by two-photon polymerization for multimode filtering of particles. *Optics Letters*, 46(12), 2968–2968. <https://doi.org/10.1364/ol.428751>
- Watanabe, T., Kawahara, D., Kawamura, T., Inoue, R., Yamaguchi, A., & Nakao, K. (2024). Sialolithiasis of minor salivary glands in multiple areas of the lips: Scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy analysis. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology*. <https://doi.org/10.1016/j.ajoms.2024.07.002>
- Xian, G., Long, Z., Qin, B., Liu, J., Peng, W., Jing, B., Zhang, G., Li, Q., & Li, S. (2024). Magnetic nickel ferrite for efficient persulfate activation to remove aqueous refractory organics: Synthesis, advantages, mechanism, and environmental implications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(2), 111934–111934. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.111934>
- Zhang, B., Shen, J., Xiong, J., Shen, Y., Zhang, B., & Shi, W. (2023). Influence of solution and operating conditions on the treatment of aquaculture wastewater using direct contact membrane distillation: Ammonia rejection and membrane fouling. *Chemical Engineering Journal*, 478, 147326–147326. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.147326>

