

## Pengaruh Waktu Sonikasi Terhadap Struktur dan Sifat Magnet Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO

Muhammad Rhohid Abdurrohman, Astuti\*, Sri Rahayu Alfitri Usna  
Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas,  
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 27 Agustus 2023  
Direvisi: 19 Oktober 2023  
Diterima: 22 Januari 2024

#### Kata kunci:

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
GO  
kopresipitasi  
sonikasi  
superparamagnetik

#### Keywords:

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>  
GO  
coprecipitation  
sonication  
superparamagnetic

#### Penulis Korespondensi:

Astuti  
Email: [astuti@sci.unand.ac.id](mailto:astuti@sci.unand.ac.id)

### ABSTRAK

Penelitian tentang pengaruh waktu sonikasi terhadap struktur dan sifat magnet Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO telah dilakukan. Sintesis dilakukan dalam tiga tahap. Tahapan pertama, preparasi nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan menggunakan metode kopresipitasi. Kedua, preparasi GO dari daun pisang kering menggunakan metode *Liquid Sonication Exfoliation* (LSE). Tahap terakhir yaitu pelapisan permukaan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan GO membentuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO menggunakan proses sonikasi dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Bahan dikarakterisasi menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), *fourier transform infrared* (FTIR), dan *vibrating sample magnetometer* (VSM). Ukuran kristal sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (30 menit), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (60 Menit), dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (90 menit) yang diperoleh dari hasil karakterisasi XRD berturut-turut yaitu 18,47 nm; 18,48 nm; 14,79 nm; dan 21,14 nm. Struktur kristal yang didapat dari semua sampel yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berbentuk *cubic* dan GO berbentuk *rhombohedral*. Hasil karakterisasi FTIR semua sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO yang disonikasi menunjukkan adanya ikatan Fe–O dan C=C yang mengindikasikan terbentuknya Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan GO. Hasil pengujian VSM menunjukkan semua sampel bersifat superparamagnetik. Waktu sonikasi tidak mempengaruhi bentuk struktur kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO, namun mempengaruhi sifat kemagnetannya. Semakin lama waktu sonikasi maka semakin besar nilai magnet saturasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Nilai magnet saturasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO yang disonikasi selama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit berturut-turut yaitu 41,14 emu/g; 47,65 emu/g; dan 51,12 emu/g. Berdasarkan nilai saturasinya, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dapat dikembangkan dalam aplikasi biomedis seperti diagnostik dan fotothermal.

*Research on the effect of sonication time on the structure and magnetic properties of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO tages. The first stage was the preparation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles using the coprecipitation method. Second, the preparation of GO from dried banana leaves using the Liquid Sonication Exfoliation (LSE) method. The last stage is Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> surface with GO to form Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO using sonication process with time variation of 30 minutes, 60 minutes, and 90 minutes. The sample was characterized using X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR), and vibrating sample magnetometer (VSM). The crystal sizes of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (30 min), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (60 min), and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (90 min) samples obtained from XRD characterization results are 18.47 nm; 18.48 nm; 14.79 nm; and 21.14 nm, respectively. The crystal structure obtained from all samples is Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> cubic and GO rhombohedral. FTIR characterization results of all sonicated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO samples showed the presence of FeO and CC bonds, indicating the formation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and GO. VSM testing showed that all samples were superparamagnetic. Sonication time does not affect the shape of the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO crystal structure but affects its magnetic properties. The saturation magnetic values of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO sonicated for 30 minutes, 60 minutes, and 90 minutes are 41.14 emu/g; 47.65 emu/g; and 51.12 emu/g. The longer the sonication time, the greater the saturation magnetic and coercivity value of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO can be developed in bio-applications such as diagnostics and photothermal based on its saturation value.*

## I. PENDAHULUAN

Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (besi oksida) merupakan salah satu jenis nanopartikel magnetik yang banyak diteliti karena dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti bidang industri (Suprihatin dkk., 2021), teknologi (Maulinda dkk., 2016), biomedis (Madhubala & Kalaivani, 2018), dan bioteknologi (Sunaryono dkk., 2007). Aplikasi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam bidang biomedis digunakan sebagai material *bioimaging*, terapi *magnetic resonance imaging* (MRI), *magnetic fluid hyperthermia* (MFH), *magnetic particle imaging* (MPI), pemisahan molekul, dan penghantar obat (Indiastuti & Amaliyah, 2021).

Pemanfaatan material nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam bidang biomedis dapat dilakukan dengan melakukan modifikasi permukaannya dengan material yang bersifat biokompatibel. Salah satu material yang bersifat biokompatibel yaitu berbasis karbon (Wu dkk., 2015). Selain itu, pelapisan nanopartikel magnetik dengan bahan organik seperti karbon juga dapat meningkatkan fungsionalitas, stabilitas, dan dispersi dalam pelarut air.

Khuyen dkk., (2023) melapisi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan Au (*aurum*) dengan metode Stober sebagai terapi hipertermia dan biomedis. Nanokomposit yang dihasilkan berhasil digunakan untuk gambar fluoresensi *in vitro* untuk mengidentifikasi sel kanker kolorektal. Penelitian lainnya yaitu Wang dkk., (2019) mensintesis Ag@Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C dengan metode hidrotermal sebagai material pengontras pada MRI dan terapi kemo-fototermal. Ahmadian dkk., (2018) melakukan penggabungan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan material *carbon dots* (CDs) dari ekstrak lemon dan buah anggur sebagai material pengontras. CDs yang dihasilkan menunjukkan stabilitas fluoresensi yang tinggi di bawah sinar UV, bersifat superparamagnetik dan memiliki sensitivitas serta spesifisitas yang tinggi sehingga bisa digunakan untuk aplikasi biomedis.

*Graphene oxide* (GO) juga menjanjikan untuk aplikasi dalam bidang biomedis. GO dapat terdispersi dengan baik dalam air dan lingkungan fisiologis karena mengandung oksigen melimpah seperti gugus hidroksil, epoksi, karbonil, dan karboksil (Wang dkk., 2013). Selain itu, juga bersifat biokompatibilitas yang sangat baik dan toksisitasnya yang rendah. Salah satu penelitian tentang GO dalam aplikasi biomedis adalah, penelitian yang dilakukan oleh Tiwari dkk., (2019), dimana GO disini digunakan sebagai bahan untuk penghantar obat. GO bisa disintesis dari bahan alam seperti tempurung kelapa (Aziz & Tjahjono, 2022), bulu ayam (Hastuti & Fefiyanti, 2022), dan jagung (Bete dkk., 2019).

Pada penelitian ini, dilakukan pelapisan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan GO. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> disintesis menggunakan metode kopresipitasi yaitu metode sederhana untuk mendapatkan ukuran partikel yang kecil melalui pengendapan. Sedangkan GO disintesis dari daun pisang menggunakan metode *liquid sonication exfoliation* (LSE) yaitu metode pengikisan molekul menggunakan proses sonikasi dengan bantuan surfaktan. Penggabungan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan GO dilakukan dengan proses sonikasi dengan variasi waktu seama 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Kelebihan metode sonikasi yaitu dapat memecah agregat kristal yang memiliki ukuran besar menjadi agregat kristal yang memiliki ukuran kecil (Herbirowo dkk., 2013). Tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh waktu sonikasi terhadap sifat magnet komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Struktur kristal dan sifat magnet dari komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO yang dihasilkan dikarakterisasi dengan menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD) dan *vibrating sample magnetometer* (VSM). Gugus fungsi ikatan yang terbentuk dalam sampel dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR). Berdasarkan hasil karakterisasi tersebut, komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO berpotensi untuk dikembangkan dalam biomedis seperti bahan terapi fototermal dan diagnostik pada MRI.

## II. METODE

### 2.1 Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dilakukan dengan metode kopresipitasi. Fe (II) FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan Fe (III) FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O dengan rasio molar (1:2) dilarutkan dalam *aquades*. *Amonium hydroxide* (NH<sub>4</sub>OH) ditambahkan ke dalam larutan sebagai katalis. Proses pemanasan menggunakan *hot plate* dilakukan selama 120 menit dengan suhu 60 °C dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 450 rpm. Magnet permanen diletakkan di bawah gelas ukur untuk mempercepat proses pengendapan. Hasil endapan dicuci kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 90 °C selama 4 jam. Endapan

yang sudah kering kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman no 42 dengan ukuran diameter pori-pori sebesar 2,5 μm kemudian digerus selama 10 menit hingga menjadi serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

### 2.2 Sintesis Graphene Oxide (GO)

Sintesis GO dari daun pisang kering dilakukan menggunakan metode *liquid sonication exploitation* (LSE). Daun pisang yang sudah dipotong kecil dipanaskan menggunakan oven selama 1 jam dengan suhu 180 °C. Setelah itu, potongan-potongan daun pisang digerus hingga menjadi serbuk lalu disaring menggunakan kertas saring. Sebanyak 0,1 g serbuk daun pisang dicampurkan dengan aquades 30 ml dan 3 tetes larutan detergen 0,6 g. Langkah selanjutnya melakukan sonikasi pada larutan aquades dan serbuk daun pisang kering selama 3 jam dengan frekuensi 40k Hz. Larutan yang sudah disonikasi kemudian disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan endapan serbuk daun pisang hingga terbentuklah larutan GO.

### 2.3 Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO

Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dilakukan dengan cara menggabungkan serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ke dalam larutan GO dengan proses sonikasi. Sebanyak 1 g serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dimasukkan ke dalam larutan GO dengan volume 25 ml. Kemudian dilakukan proses sonikasi dengan variasi waktu 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Setelah itu larutan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120 °C selama 18 jam. Endapan yang telah kering digerus selama 10 menit menggunakan mortal dan alu hingga terbentuklah serbuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO.

Ukuran kristal pada sampel dihitung menggunakan Persamaan *Debye Scherrer* berdasarkan pada pelebaran puncak difraksi sinar-X yang muncul. Persamaan *Debye Scherrer* secara matematis ditulis seperti Persamaan 1.

$$D = \frac{K \lambda}{B \cos \theta} \tag{1}$$

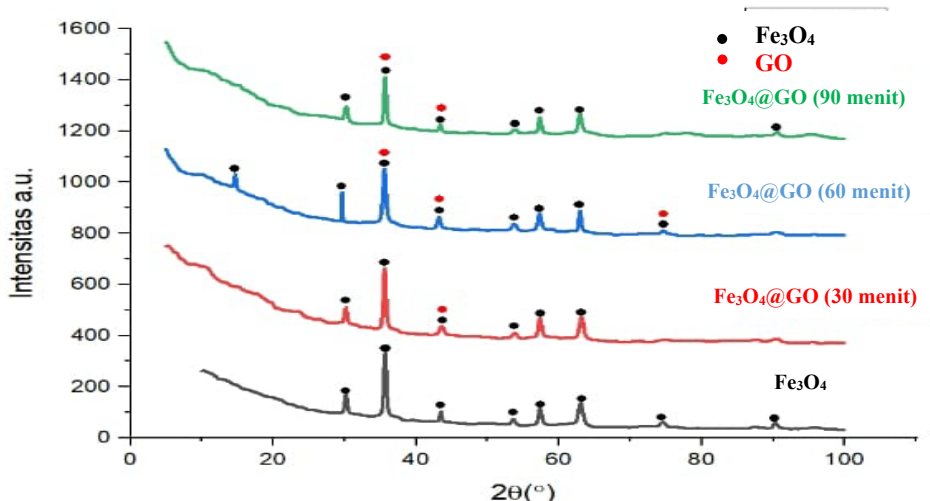
dengan:

- $D$  : ukuran kristal (nm)
- $\lambda$  : panjang gelombang sinar-X
- $K$  : *shape factor* (0,9)
- $B$  : FWHM (*Full Width at Hall Maximum*) (°)
- $\cos \theta$  : sudut antara sinar datang dengan bidang normal

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Analisis Struktur dan Ukuran Kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO

Pengamatan untuk melihat struktur kristal dari Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dilakukan dengan karakterisasi menggunakan XRD. Variasi yang sampel yang digunakan yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> muni, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Pola difraksi pada sampel yang diuji ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik hasil uji XRD pada variasi sampel

Fasa yang terbentuk yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berbentuk struktur *cubic* dan GO dengan struktur *rhombohedral* untuk semua sampel. Fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> mudah teroksidasi dan kurang stabil terlihat pada grafik sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 60 menit dan 90 menit. Hal ini disebabkan kondisi sampel ketika dicuplik untuk pengukuran XRD tidak tercampur dengan baik. Pada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni menunjukkan puncak difraksi maksimum pada sudut  $2\theta = 35,68^\circ$  dengan bidang hkl (311). Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (30 menit) memiliki puncak difraksi maksimum pada sudut  $2\theta = 35,63^\circ$ . Pada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (60 menit) menunjukkan puncak difraksi maksimum berada pada sudut  $2\theta = 35,59^\circ$ . Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO (90 menit) menunjukkan puncak difraksi maksimum pada sudut  $2\theta = 35,69^\circ$ .

Ukuran kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dihitung menggunakan persamaan *Debye Scherrer* (Persamaan 1). Variasi yang sampel yang digunakan yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> muni, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 30 menit, 60 menit, dan 90 menit. Hasil perhitungan ukuran kristal disajikan dalam Tabel 1.

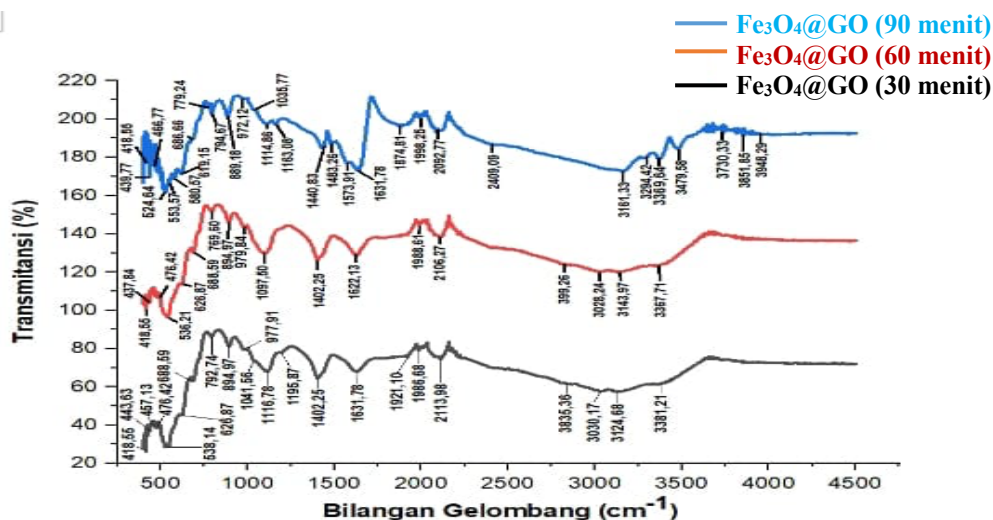
**Tabel 1** Ukuran kristal hasil uji XRD

Variasi Sampel	<i>K</i>	$\lambda$ (nm)	<i>B</i> (rad)	<i>Cos</i> $\theta$	<i>D</i> (nm)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,9	0,154	0,00714	0,3112	18,47
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (30 menit)	0,9	0,154	0,00714	0,3107	18,48
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (60 menit)	0,9	0,154	0,00892	0,3104	14,79
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (90 menit)	0,9	0,154	0,00624	0,3112	21,14

Tabel 1 menunjukkan ukuran kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Ukuran kristal terbesar terdapat pada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 90 menit karena munculnya puncak Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> pada sudut  $2\theta = 90,46^\circ$ . Sedangkan ukuran kristal terkecil terdapat pada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 60 menit karena munculnya puncak GO pada sudut  $2\theta = 74,57^\circ$  sehingga mempengaruhi komposisi kisi kristal pada sampel. Hal ini bisa disebabkan oleh kurang bersihnya preparasi sampel pada saat sintesis. Kehadiran GO bisa meminimalisirkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang cenderung teraglomerasi.

### 3.2 Analisis Karakterisasi FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dengan variasi waktu sonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit untuk melihat gugus fungsi yang terkandung dalam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Hasil pengujian menunjukkan adanya gugus fungsi yang terdapat pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



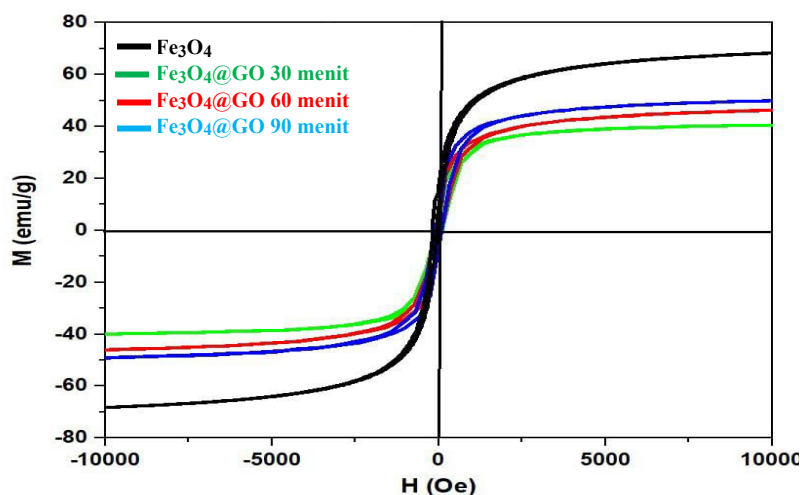
**Gambar 2** Hasil uji FTIR Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO

Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa pada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO untuk semua variasi waktu sonikasi terdapat 3 gugus fungsi yang terbentuk yaitu O-H, C=C, dan Fe-O. Gugus fungsi O-H

pada bilangan gelombang 3000 cm<sup>-1</sup> – 4000 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan bahwa adanya serapan molekul air pada permukaan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO, gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang 1500 cm<sup>-1</sup> – 2000 cm<sup>-1</sup> menunjukkan terbentuknya GO, dan gugus fungsi Fe-O pada bilangan gelombang 400 cm<sup>-1</sup> – 600 cm<sup>-1</sup> menunjukkan terbentuknya Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Hasil ini membuktikan bahwa sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO pada semua variasi waktu sonikasi berhasil dilakukan.

### 3.3 Analisis Karakterisasi VSM

Karakterisasi menggunakan VSM bertujuan untuk menganalisis sifat kemagnetan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dengan variasi waktu sonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit yang dihasilkan dalam bentuk kurva histerisis. Bentuk kurva histerisis hasil uji VSM dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva histerisis hasil uji VSM

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), medan koersivitas ( $H_c$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ), dan rasio magnetisasi remanen terhadap magnetisasi saturasi ( $M_r/M_s$ ), seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji VSM

Nama sampel	$M_s$ (emu/g)	$H_c$ (Oe)	$M_r$ (emu/g)	$M_r/M_s$	Loop area (kOe.emu/g)
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (murni)	68,36	131,21	11,40	0,166	3,7
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (30 menit)	41,14	83,39	4,30	0,105	4,2
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (60 menit)	47,65	87,70	5,37	0,113	2,0
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @GO (90 menit)	51,12	87,77	6,02	0,118	2,5

Berdasarkan Tabel 2 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO 30 menit, 60 menit, dan 90 menit memiliki hasil luasan kurva berturut-turut sebesar 3,7 kOe.emu/g, 4,2 kOe.emu/g, 2,0 kOe.emu/g, dan 2,5 kOe.emu/g. Luasan kurva histerisis menunjukkan energi yang diperlukan untuk magnetisasi. Nilai  $H_c$  Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO variasi waktu sonikasi yang diperoleh berturut-turut sebesar 131,21 Oe, 83,39 Oe, 87,70 Oe, dan 87,77. Nilai  $H_c$  yang diperoleh sangatlah kecil sehingga dikatakan sampel bersifat superparamagnetik. Hasil ini merujuk pada penelitian Jeppson dkk., (2006) yang menyatakan nilai  $H_c$  sebesar 147,9 Oe dan 169,9 Oe masih digolongkan sebagai superparamagnetik.

Nilai magnet saturasi sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni lebih besar daripada sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang dilapisi dengan GO. Hal ini disebabkan karena GO tidak memiliki sifat magnet. Lama waktu sonikasi sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO mempengaruhi nilai magnet saturasi dan koersitivitas bahan, semakin lama waktu sonikasi maka semakin besar nilai magnet saturasi dan koersitivitas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu sonikasi akan menghasilkan lembaran GO yang lebih tipis (Wisnujaya, 2017).

Namun, dalam aplikasi biomedis, nilai magnet saturasi yang rendah lebih baik daripada nilai magnet saturasi yang tinggi karena kerusakan jaringan akibat medan magnet yang tinggi dapat diminimalkan (Salem dkk., 2020).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, hasil uji menggunakan XRD didapatkan struktur kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> untuk sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> murni dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO variasi waktu sonikasi 30 menit, 60 menit, dan 90 menit berbentuk *cubic* dan GO berbentuk *rhombohedral*. Hasil uji FTIR mengindikasikan adanya ikatan Fe-O dan ikatan C=C pada semua sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dengan variasi waktu sonikasi menunjukkan bahwa sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO berhasil dilakukan. Hasil uji VSM menunjukkan bahwa semua sampel bersifat superparamagnetik. Waktu sonikasi tidak mempengaruhi struktur kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO, tetapi mempengaruhi sifat kemagnetannya. Semakin lama waktu sonikasi maka semakin besar pula nilai magnet saturasi dan magnet Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO. Berdasarkan nilai saturasi magnetik dan medan koersivitasnya, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@GO dapat dikembangkan dalam aplikasi biomedis seperti diagnostik dan fototermal.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Universitas Andalas, dengan nomor kontrak penelitian No: T/23/UN.16.17/PT.01.03/IS-RPT/2022.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadian-fard-fini, S., Salavati-niasari, M., & Ghanbari, D. (2018). Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy Hydrothermal green synthesis of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - carbon dots by lemon and grape fruit extracts and as a photoluminescence sensor for detecting of E . coli bacteria. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 203, 481–493. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.021>
- Aziz, Z. I., & Tjahjono, A. (2022). Sintesis Graphene Oxide ( GO ) berbasis arang dengan metode liquid phase exfoliation ( LPE ). 5(September). <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2022.5.2.5488>
- Bete, Y. I., Bukit, M., Zicko, A., Pingak, R. K., Fisika, P. S., Sains, F., Cendana, U. N., & Sucipto-penfui, J. A. (2019). Kajian Awal Sifat Optik Graphene Oxide Berbahan Dasar Arang Tongkol Jagung Yang Disintesis Dengan Metode Liquid Phase Exfoliation ( LPE ). 4(2), 114–120.
- Hastuti, E., & Fefiyanti, F. (2022). Pengaruh Konsentrasi Hcl Pada Proses Exfoliasi Graphene Oxide / Reduce Graphene Oxide ( Go / Rgo ) Dari Karbon Bulu Ayam. 12(2), 168–175.
- Herbirowo, S., Kunciran, J. L. D., & Penelitian, M. (2013). Sintesis dan Karakterisasi Epoksi Nanokomposit Berpenguat Fe-Ni Nanopartikel Dengan Variasi Fraksi Berat Serta Waktu Sonikasi Untuk Aplikasi Hybrid Capsulated Circuit.
- Indiastuti, D., & Amaliyah, F. F. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> termodifikasi Biokompatibel Polimer serta Potensinya sebagai Penghantar Obat. *The Indonesian Green Technology Journal*, 1–8. <https://doi.org/10.21776/ub.igtj.2021.010.01.01>
- Jeppson, P., Sailer, R., Jarabek, E., Sandstrom, J., Anderson, B., Bremer, M., & Grier, D. G. (2006). Cobalt ferrite nanoparticles : Achieving the superparamagnetic limit by chemical reduction. 1–7. <https://doi.org/10.1063/1.2399885>
- Khuyen, H. T., Huong, T. T., Van, N. D., Huong, N. T., & Vu, N. (2023). Nanocomposite for Dual Photo-Magnetic Hyperthermia and. Iii.
- Madhubala, V., & Kalaivani, T. (2018). Phyto and hydrothermal synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @ZnO core-shell nanoparticles using Azadirachta indica and its cytotoxicity studies. *Applied Surface Science*, 449, 584–590. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.12.105>
- Maulinda, M., Jalil, Z., & Rahwanto, A. (2016). The Effect Of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)Catalyst From Iron Sands On Desorption Temperature Of Mgh2 Hydrogen Storage Material. *Jurnal Natural*, 16(1), 18–20. <https://doi.org/10.24815/jn.v16i1.4362>

- Salem, M. L., Gemeay, A., & Gomaa, S. (2020). *Superparamagnetic graphene oxide / magnetite nanocomposite delivery system for doxorubicin-induced distinguished tumor cell cycle arrest and apoptosis*.
- Sunaryono, Munaji, Ediati, R., Triwikantoro, & Darminto. (2007). Fabrikasi Hidrogel Magnetik Berbasis Nano Partikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 8(3), 174–177.
- Suprihatin, I. E., Murdani, N. D., & Suarsa, I. W. (2021). Bentonit-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Sebagai Fotokatalis Dalam Proses Fotodegradasi Naphthol Blue Black Dengan Iradiasi Uv. *Jurnal Kimia*, 15(1), 59. <https://doi.org/10.24843/jchem.2021.v15.i01.p09>
- Wang, G., Chen, G., Wei, Z., Dong, X., & Qi, M. (2013). Multifunctional Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> / graphene oxide nanocomposites for magnetic resonance imaging and drug delivery. *Materials Chemistry and Physics*, 141(2–3), 997–1004. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2013.06.054>
- Wang, M., Liang, Y., Zhang, Z., Ren, G., & Liu, Y. (2019). Analytica Chimica Acta Ag @ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> @ C nanoparticles for multi-modal imaging-guided chemo- photothermal synergistic targeting for cancer therapy. *Analytica Chimica Acta*, 1086, 122–132. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2019.08.035>
- Wisnujaya, R. I. (2017). Preparasi Dan Sintesis Graphene Oxide Dengan Metode Liquid Sonication Exfoliation Dan Random Collision Marbles Shaking Dengan Bahan Dasar Graphite Limbah Baterai Zinc-Carbon Berdasarkan Uji Spektrofotometer Uv-Vis. *Skripsi*, 6–8.
- Wu, M., Zhang, D., Zeng, Y., & Wu, L. (2015). Nanocluster of superparamagnetic iron oxide nanoparticles coated with poly ( dopamine ) for magnetic fi eld-targeting , highly sensitive MRI and photothermal cancer therapy. *Nanotechnology*, 26(11), 115102. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/26/11/115102>