

# Sintesis Nanopartikel Magnetik Besi Oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Menggunakan Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper Crocatum*) sebagai Agen Pelindung (*Capping Agent*)

Rafiqa Khaira, Alizar Ulinas\*, Minda Azhar, Mawardi

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia

\*[alizar\\_chem@yahoo.co.id](mailto:alizar_chem@yahoo.co.id)

**Abstract**—Magnetic nanoparticles have become one of the topics of interest in recent years, because magnetic nanoparticles have a greater degree of magnetism, high saturation magnetization, and ease of modification and manipulation. One of them is  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nanoparticles which are used in various fields, such as in the biomedical sector which acts as antibacterial, hyperthermia, anticancer, and others. This study aims to synthesize iron oxide  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nanoparticles using phenolic compounds contained in red betel leaf extract as a capping agent with a green chemistry-based coprecipitation method and characterize them. The formed nanoparticles were measured for their magnetic strength with a Gaussmeter and characterized by functional groups, particle size and particle surface morphology using FTIR, XRD and SEM. The data obtained shows that the optimum composition for the formation of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles is by comparing  $\text{FeCl}_2$ :  $\text{FeCl}_3$  (0.01 mol: 0.02 mol) with a volume of 5 mL red betel leaf extract which produces 0.16 mT magnetic strength. Characterization by FTIR shows the O-H, C = O carboxylate, and C-H aromatic groups which indicate the presence of organic compounds, namely phenolic (gallic acid) which functions as a protective agent (capping agent) of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . The XRD test obtained information about the average size of the nanoparticles formed based on the FWHM (full width at half maximum) value using the Scherer equation, which is 26.66 nm. Meanwhile, SEM data shows that the shape or morphology of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  magnetic nanoparticles is needle-shaped.

**Keywords**—Nanopartikel, besi oksida  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , green chemistry, ekstrak daun sirih merah (*Piper Crocatum*)

## I. PENDAHULUAN

Sejalan dengan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin berkembang, nanopartikel menjadi salah satu bidang yang menarik perhatian, karena nanopartikel ini memiliki aplikasi yang luas, seperti dalam bidang lingkungan, elektronik, optis dan biomedis[1]. Nanopartikel biasanya berukuran 100 nm atau kurang di dalam 3 dimensi memiliki ukuran, sifat fisik, kimia, optik, mekanik dan magnetiknya yang unik. Nanopartikel yang sering digunakan akhir-akhir ini dalam ilmu pengetahuan modern adalah nanopartikel magnetik, karena nanopartikel magnetik memiliki tingkat kemagnetan yang lebih besar, magnetisasi saturasi yang tinggi, kemudahan modifikasi dan manipulasi, dan perilaku magnetik yang kuat [2].

Salah satunya yaitu nanopartikel magnetik magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dimana nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan mineral ferrimagnetik yang mengandung Fe(II) dan Fe(III). Magnetit banyak disintesis di laboratorium karena memiliki kisi yang beragam dan keadaan valensi dari besi memberikan kontribusi terhadap sifat magnetik magnetit yang membuatnya

sangat mudah diaplikasikan dibidang biomedis (*drug delivery*, pemisahan, sensor) dan material elektromagnetik [3].

Dalam bidang biomedis nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) berperan sebagai antibakteri, antijamur, hipertermia, antikanker, dan lain-lain. Salah satu aplikasi nanopartikel magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang saat ini sedang dikembangkan adalah sebagai sistem penghantar obat (*drug delivery system*) untuk membunuh sel kanker. Aplikasi biomedis secara *in-vivo*, nanopartikel magnetit harus bersifat non-toksik dan non-imunogenik, dengan ukuran partikel yang cukup kecil untuk bertahan dalam sirkulasi darah setelah injeksi. Agar nanopartikel dapat diaplikasikan secara *in vivo* di bidang medis, terlebih dahulu harus dilapisi dengan polimer yang biokompatibel baik selama atau setelah proses sintesis untuk mencegah pembentukan agregat berukuran besar, mengubah dari struktur asal dan bisa terbiodegradasi bila dipaparkan ke sistem biologi. Polimer juga bisa berikatan secara kovalen dengan obat-obatan, terserap atau terjebak pada partikel (4).

Metode kopresipitasi berbasis *green chemistry* adalah metode ramah lingkungan untuk membuat partikel nano,

dimana tidak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. *Green chemistry* termasuk ke dalam metode pendekatan *bottom-up*, metode ini mencakup semua metode pembuatan nanopartikel melalui atom dan molekul yang berkumpul dan membesar (aglomerasi). Kuncinya adalah menghentikan proses pembesaran / aglomerasi sehingga ukuran partikel hanya sampai skala nanometer. Proses aglomerasi dapat dihambat dengan membuat lapisan pelindung pada permukaan nanopartikel. Lapisan pelindung ini biasanya terbuat dari polimer atau senyawa-senyawa kimia, namun disini lapisan pelindungan yang digunakan berasal dari senyawa kimia (fenolik) yang terkandung dalam ekstrak daun sirih merah. Pembuatan nanopartikel dengan metode ini juga memberikan keuntungan yaitu pengumpulan nanopartikel akan lebih mudah dan nanopartikel di dalam bahan ini akan lebih stabil [5]

Sebelumnya telah dilakukan sintesis nanopartikel magnetit ( $Fe_3O_4$ ) dengan ekstrak daun *Zanthoxylum armatum DC* dilakukan oleh A.V. Ramesh *et al.*, (2018) sebagai pelindung terutama fenolik, dengan ekstrak daun carob dilakukan oleh Akl M. Awwad *et al.*, (2012), dengan ekstrak daun *A. adianthifolia* dilakukan oleh Ghassan M. Sulaiman *et al.*, (2017) dalam sintesis nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$ . Sirih merah memiliki kandungan senyawa aktif seperti flavonoid, alkaloid, tanin, senyawa polifenolat dan minyak atsiri (Lestari ABS, 2014; Safithri *et al.*, 2012). Senyawa fenolik merupakan bagian dari polifenolat, dimana senyawa fenolik berfungsi sebagai bahan pelindung (*capping agent*) dalam sintesis nanopartikel  $Fe_3O_4$ .

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi nanopartikel adalah Gaussmeter TD8620, *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Merk Perkin Elmer Frontier), *X-ray Diffractometer* (XRD-6000, Shimadzu, Japan), dan *Scanning Electron Microscopy* (Shimadzu AA-7000, Japan). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun sirih merah biomassa (*Piper Crocatum*),  $FeCl_2$  (merck, 98,0%) dan  $FeCl_3$  (merck,  $\geq 98,0\%$ ), NaOH 1 M, akuades, dan akuabides.

### 2.2 Preparasi Daun Sirih Merah (*Piper Crocatum*)

Daun sirih merah (*Piper Crocatum*) yang digunakan berasal dari daerah Guguk Kabupaten Lima Puluh Kota. Daun yang telah dikumpulkan dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran atau partikel debu yang menempel pada daun. Kemudian dikeringkan dengan cara mengangin-anginkan sampai benar-benar kering lebih kurang selama 10 hari.

### 2.3 Persiapan Ekstrak Daun Sirih Merah (*Piper Crocatum*)

Daun yang sudah kering digiling atau dihaluskan dengan blender. Daun yang sudah berbentuk bubuk halus ditimbang sebanyak 5 gram dan dipanaskan dengan 100 mL akuades dalam gelas kimia 250 mL. Proses pemanasan dilakukan selama 5 menit dengan suhu  $80^\circ C$ , kemudian

didinginkan sampai suhu ruang, setelah itu ekstrak disaring dengan kertas saring Whatman No 42. Filtrat yang didapat disimpan pada suhu  $4^\circ C$ .

### 2.4 Sintesis Nanopartikel Magnetik $Fe_3O_4$

Sintesis nanopartikel magnetik disiapkan mengikuti metode yang dilaporkan oleh Ghassan M. Sulaiman *et al.*, 2017 dengan sedikit modifikasi.  $FeCl_2$  dan  $FeCl_3$  dicampurkan dengan perbandingan (1:2) mol dan dilarutkan didalam 100 mL akuabides. Campuran dipanaskan pada suhu  $80^\circ C$  menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit, kemudian ditambahkan ekstrak daun sirih merah 5 mL sambil diaduk hingga warna larutan berubah menjadi coklat kemerahan. Larutan NaOH 1 M sebanyak 20 mL (3 mL per menit) ditambahkan kedalam campuran tersebut. Campuran ini didinginkan hingga suhu ruang sampai terbentuk endapan pada gelas kimia. Endapan yang terbentuk disentrifuge selama 10 menit untuk mengumpulkan nanopartikel. Nanopartikel yang dihasilkan dibilas dengan aquabides sebanyak tiga kali dan dikeringkan pada suhu ruang, kemudian diuji kekuatan magnetnya dengan menggunakan alat gaussmeter. Sebagai pembandingan dilakukan sintesis nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  dengan cara yang sama tetapi ekstrak daun sirih diganti dengan  $H_2O$  5 mL.

### 2.5 Optimasi Pembuatan Nanopartikel Magnetik $Fe_3O_4$

Optimasi sintesis nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas dengan komposisi campuran seperti berikut:

**Tabel 1. Komposisi Sintesis Nanopartikel  $Fe_3O_4$**

No	Volume ekstrak daun sirih merah (mL)	$FeCl_2 : FeCl_3$ (mol)
1.	1	1:2
2.	3	1:2
3.	5	1:2
4.	7	1:2
5.	9	1:2
6.	5 mL	1:2
7.	5 mL	2:2
8.	5 mL	3:2
9.	5 mL	4:2
10.	5 mL	5:2

### 2.6 Karakterisasi Nanopartikel Magnetik $Fe_3O_4$

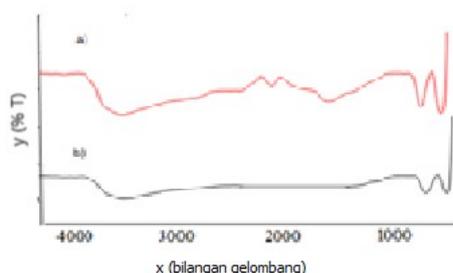
Sifat kristal dan ukuran rata-rata nanopartikel magnetik Besi Oksida  $Fe_3O_4$  yang terbentuk diamati dengan menggunakan *X-ray Diffractometer* (XRD-6000, Shimadzu, Japan). Gugus fungsi dari nanopartikel yang dihasilkan dengan penambahan ekstrak dan tanpa penambahan ekstrak diamati dengan *Spektrofotometer Fourier Transform Infrared* (FTIR) (Merk Perkin Elmer Frontier). Morfologi permukaan

nanopartikel  $Fe_3O_4$  diamati dengan *Scanning Electron Microscopy* (Shimadzu AA-7000, Japan).

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Kandungan Senyawa Kimia dengan FTIR

Analisis FTIR bertujuan untuk menentukan senyawa kimia organik yang terkandung dalam ekstrak daun sirih merah sebagai agen pelindung (*capping agent*) pada sintesis nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$ .

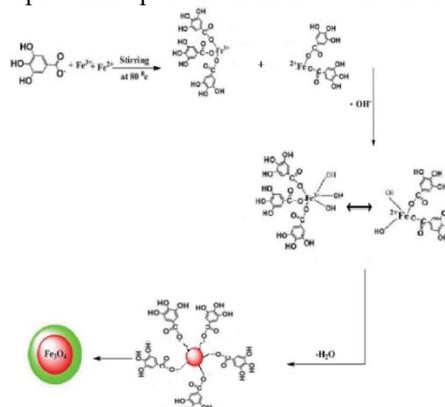


Gambar 1. Spektra FTIR (a) nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  + ekstrak (b) nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$

Gambar 1 menunjukkan adanya perbedaan bilangan gelombang dan gugus fungsi yang terbentuk. Nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  yang ditambah dengan ekstrak daun sirih merah (a) terdapat gugus fungsi seperti O-H pada bilangan gelombang  $3700\text{ cm}^{-1}$  yang diduga berasal dari kandungan ekstrak daun sirih merah, gugus O-H pada bilangan gelombang  $3330\text{ cm}^{-1}$  dari NaOH, gugus C-H aromatik pada bilangan gelombang  $2067\text{ cm}^{-1}$ , gugus C=O karboksilat pada bilangan gelombang  $1694\text{ cm}^{-1}$ , dan gugus C=C alkene pada bilangan gelombang  $834\text{ cm}^{-1}$  dan ini diduga berasal dari senyawa fenolik (asam galat) yang terkandung dalam ekstrak daun sirih merah, dimana senyawa fenolik adalah senyawa yang memiliki satu atau lebih gugus hidroksil yang menempel di gugus aromatik [6], sedangkan asam galat termasuk kedalam golongan senyawa fenolik yang menggambarkan cincin fenol yang memiliki setidaknya satu asam karboksilat, yang secara alami terdapat pada tumbuhan [7]. Terlihat jelas pada bilangan gelombang  $2067\text{ cm}^{-1}$  adanya gugus C-H aromatik, pada bilangan gelombang  $1694\text{ cm}^{-1}$  C=O karboksilat, gugus C=C alkene pada bilangan gelombang  $834\text{ cm}^{-1}$  dan terbentuknya gugus O-H lebih dari satu. Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan, bahwa senyawa fenolik (asam galat) berfungsi sebagai agen pelindung (*capping agent*) dalam sintesis nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$ . Sedangkan nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  tanpa penambahan ekstrak daun sirih merah (b) didapatkan data, yaitu gugus O-H dari NaOH pada bilangan gelombang  $3313\text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan jurnal [8] untuk pembentukan nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  ditandai dengan pita serapan dari bilangan gelombang  $428\text{ cm}^{-1}$  sampai  $686\text{ cm}^{-1}$ , dengan begitu dari data FTIR yang didapatkan pembentukan nanopartikel

magnetik  $Fe_3O_4$  ditambah ekstrak terdapat pada bilangan gelombang  $667\text{ cm}^{-1}$  dan untuk nanopartikel tanpa ekstrak terdapat pada bilangan gelombang  $670\text{ cm}^{-1}$ .

Menurut G. M. Sulaiman, A. Tet al., 2018[8] senyawa kimia yang dapat berperan sebagai agen pelindung pada nanopartikel yang dihasilkan adanya gugus C=O karboksilat yang dapat dilihat dari uji FTIR. Berdasarkan dari data yang diperoleh adanya gugus C=O karboksilat pada bilangan gelombang  $1694\text{ cm}^{-1}$ . Dan untuk melihat interaksi antara prekursor yang digunakan ( $FeCl_2$  dan  $FeCl_3$ ) dengan senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak daun sirih merah (asam galat) dapat dilihat pada mekanisme reaksi dibawah ini.

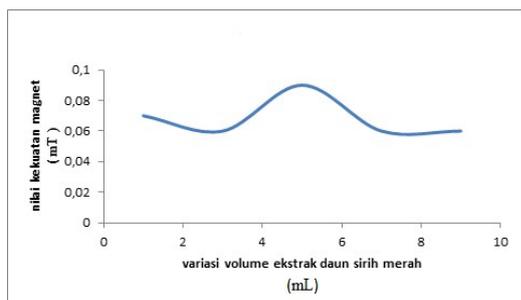


Gambar 2. Ilustrasi skema mekanisme pembentukan nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$ [9].

Berdasarkan mekanisme diatas dilaporkan bahwa asam galat merupakan fitokimia utama yang terdapat dalam ekstrak daun sirih merah (*Piper Crocatum*). C=O dari gugus karboksilat (asam galat) dari ekstrak daun sirih merah (*Piper Crocatum*) membentuk kompleks dengan  $Fe^{+3}$  dan  $Fe^{+2}$ . Reaksi ini dilakukan pada suhu  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , maka OH dari NaOH akan terlibat dalam reaksi dan demikian persaingan ikatan antara  $COO^- \dots Fe^{+3}$  dan  $COO^- \dots Fe^{+2}$  dan pembentukan  $Fe^{+3} \dots OH$  dan  $Fe^{+2} \dots OH$  akan terjadi, dengan demikian menghasilkan pembentukan besi hidroksida  $Fe(OH)_3$  dan besi hidroksida  $Fe(OH)_2$ . Akhirnya nanopartikel  $Fe_3O_4$  dibentuk oleh dehidrasi ( $-H_2O$ ) dari besi hidroksida  $Fe(OH)_3$  dan besi hidroksida  $Fe(OH)_2$  dalam campuran [9].

#### 3.2 Penentuan Kekuatan Magnet Nanopartikel Magnetik $Fe_3O_4$

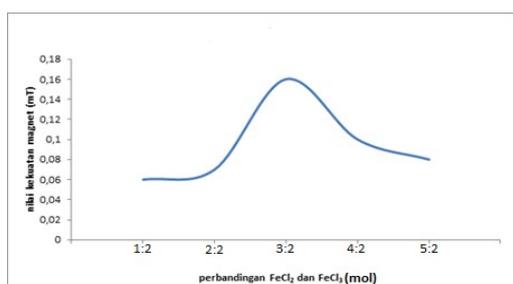
##### a. Variasi Volume Ekstrak Daun Sirih Merah



Gambar 4. Grafik kekuatan magnet dari berbagai variasi volume ekstrak daun sirih merah

Nanopartikel magnetik besi oksida ( $Fe_3O_4$ ) disintesis dengan metode kopresipitasi berbasis *green chemistry* menggunakan ekstrak daun sirih merah sebagai agen pelindung (*capping agent*), dari variasi penambahan volume ekstrak daun sirih merah didapatkan nilai kekuatan magnet optimum pada volume 5 mL yaitu dengan nilai 0,09 mT. Jika volume ekstrak yang digunakan terlalu rendah menyebabkan kandungan senyawa kimia organik (senyawa fenolik) yang terbentuk sedikit, dan mengakibatkan nanopartikel yang terbentuk tidak terlindungi dengan sempurna dan menjadikannya tidak stabil, sehingga kekuatan magnet yang dihasilkan kecil. Namun jika volume terlalu tinggi menyebabkan laju reaksi melambat, hal ini terjadi karena banyaknya senyawa fenolik (dalam ekstrak daun sirih merah) sehingga senyawa tersebut akan saling menghambat gugus yang akan berikatan dengan  $Fe^{+2}$  dan  $Fe^{+3}$ , dan mengakibatkan nanopartikel yang terbentuk kurang sempurna, dan akan berpengaruh terhadap nilai kekuatan magnet yang dihasilkannya.

b. Variasi Perbandingan  $FeCl_2$  dan  $FeCl_3$

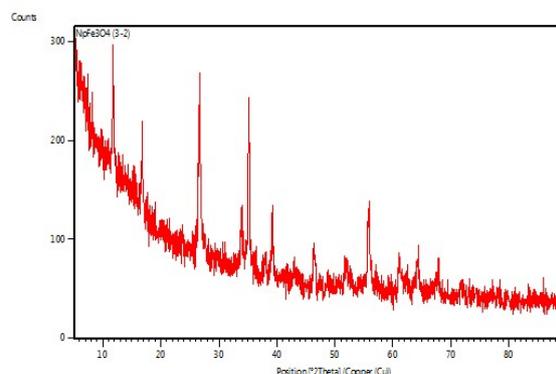


Gambar 5. Grafik kekuatan magnet dari berbagai variasi volume ekstrak daun sirih merah

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa kekuatan magnet tertinggi berada pada perbandingan 3 : 2. Menurut G.T. Sulungbudi and M. Ridwan(2006)[10] mengenai variasi komposisi Fe (II) dan Fe (III) pada proses sintesis SPION (*Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticle*) mengatakan bahwa penambahan Fe (II) dapat mengimbangi proses oksidasi Fe (II) menjadi Fe (III) dan mengoptimalkan pembentukan fasa  $Fe_3O_4$ , serta meningkatkan sifat magnetiknya. Dengan begitu jika perbandingan antara  $FeCl_2$  dan  $FeCl_3$  terlalu tinggi atau terlalu rendah akan

mengakibatkan fasa  $Fe_3O_4$  yang terbentuk tidak optimal serta akan berpengaruh juga terhadap kekuatan magnet yang dihasilkan.

3.3 Karakterisasi Nanopartikel Magnetik  $Fe_3O_4$



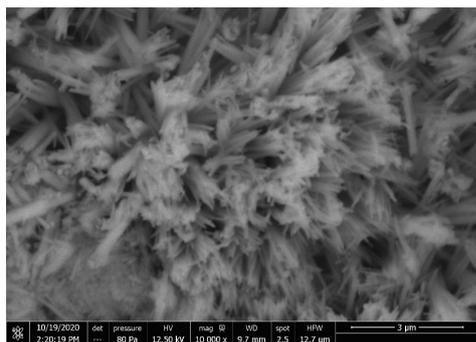
Gambar 5. Pola difraktogram nanopartikel  $Fe_3O_4$

Hasil analisa XRD muncul beberapa puncak difraksi dari nanopartikel  $Fe_3O_4$  yang disintesis adalah terdeteksi pada  $2\theta$  adalah 26.6854; 39.2275; 55.9359; 61.1214. Puncak yang muncul ini dibandingkan dengan puncak kartu interpretasi data XRD  $Fe_3O_4$  (ICDD No. 01-089-3713) sebagai standar yang memiliki puncak difraksi  $2\theta$  adalah 26.737; 39.239; 55.825; 61.215. Menurut A. M. Awwad and N. M. Salem, 2013[11] dengan begitu nanopartikel magnetit adalah kristal yang baik, karena posisi serta intensitas puncak difraksi relative cocok dengan data standar XRD.

Data XRD dapat digunakan pula untuk mengetahui ukuran rata-rata dari nanopartikel magnetik  $Fe_3O_4$  berdasarkan nilai FWHM (*full width at halfmaximum*) dengan menggunakan persamaan Scherrer, yang merujuk pada jurnal Akl M. Awwad, 2012 sebagai berikut :

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta}$$

dimana  $D$  adalah diameter rata-rata nanopartikel,  $k$  adalah nilai konstanta Scherrer,  $\lambda$  panjang gelombang sinar X (0,15405 nm),  $\beta$  adalah nilai FWHM dari puncak karakteristik masing-masing, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi. Sesuai dengan persamaan tersebut, didapatkan diameter rata-rata dari nanopartikel  $Fe_3O_4$  yang disintesis adalah sebesar 26.66 nm.



Gambar 6 Hasil uji SEM nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Gambar 6 menunjukkan hasil uji SEM pada nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merah pada perbesaran 10.000x dengan skala 3  $\mu\text{m}$  yang menunjukkan morfologi atau bentuk partikel seperti jarum. Ukuran dan bentuk nanopartikel magnetik sangat tergantung pada jenis garam yang digunakan serta rasio  $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$  (Faraji *et al.*, 2010), dimana disini perbandingan antara garam besinya adalah 3:2 ( $\text{FeCl}_2 : \text{FeCl}_3$ ). Selain itu ekstrak daun sirih merah juga berpengaruh terhadap bentuk atau morfologi dari nanopartikel. Beberapa bentuk atau morfologi dari nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang disintesis dengan menggunakan ekstrak tanaman yang berbeda seperti yang dilaporkan oleh Senthil dan Ramesh, 2012 menggunakan ekstrak daun *Tridax procumbens* dengan bentuk permukaan kasar dan tidak beraturan. Rajendran and Sengodan, 2017 menggunakan ekstrak daun *Sesbania glandiflora* dengan bentuk aglomerasi yang tidak bulat, Kumar *et al.*, 2016 menggunakan ekstrak daun *Rubus glaucus* dengan bentuk bulat dan Kanagasubbulakshmi and Kadirvelu, 2017 menggunakan ekstrak daun *Lagenaria siceraria* dengan bentuk kubik [5].

#### IV. KESIMPULAN

Nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan metode kopresipitasi berbasis *green chemistry* menggunakan ekstrak daun sirih merah sebagai agen pelindung (*capping agent*) telah dapat disintesis. Kekuatan magnet optimum dari nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ini adalah sebesar 0,16 mT. Berdasarkan hasil uji dengan FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi senyawa organik yang bereperan sebagai agen pelindung (*capping agent*) nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yaitu senyawa fenolik (asam galat) yang berasal dari ekstrak daun sirih merah. Hasil uji XRD didapatkan informasi mengenai ukuran diameter rata-rata nanopartikel adalah dalam skala nanometer, sedangkan pada uji SEM didapatkan bentuk atau morfologi partikel seperti jarum.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dalam pembuatan artikel riset ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Negeri Padang atas bantuan dana penelitiannya melalui surat keputusan Rektor nomor 184/UN35/LT/2020 dan juga untuk Laboratorium

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas sarana dan dukungannya.

#### REFERENCE

- [1] A. L. Prasetiowati, A. T. Prasetya, and S. Wardani, "Sintesis Nanopartikel Perak dengan Bioreduktor Ekstrak Daun Belimbing Wuluh (*Averrhoa Bilimbi* L.) sebagai Antibakteri," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 160–166, 2018.
- [2] I. Fatimah, "Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles Using Plant Extract: a Review," *J. Eksakta*, vol. 17, no. 1, pp. 66–85, 2017.
- [3] P. Basu, "濟無No Title No Title," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [4] A. Ebrahimezhad, A. Zare-Hoseinabadi, A. K. Sarmah, S. Taghizadeh, Y. Ghasemi, and A. Berenjian, "Plant-Mediated Synthesis and Applications of Iron Nanoparticles," *Mol. Biotechnol.*, vol. 60, no. 2, pp. 154–168, 2018.
- [5] Y. P. Yew *et al.*, "Green biosynthesis of superparamagnetic magnetite  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles and biomedical applications in targeted anticancer drug delivery system: A review," *Arab. J. Chem.*, 2018.
- [6] S. A. Salim, F. A. Saputri, N. M. Saptarini, and J. Levita, "Review Artikel: Kelebihan dan Keterbatasan Perekasi Folincioalceu dalam Penentuan Kadar Fenol Total Pada Tanaman," *Farmaka*, vol. 18, no. 1, pp. 46–57, 2020.
- [7] V. Saibabu, Z. Fatima, L. A. Khan, and S. Hameed, "Therapeutic Potential of Dietary Phenolic Acids - Europe PMC Article - Europe PMC," *Adv. Pharmacol. Sci. Neuroprotective*, vol. 2015, pp. 1–10, 2015.
- [8] G. M. Sulaiman, A. T. Tawfeeq, and A. S. Naji, "Biosynthesis, characterization of magnetic iron oxide nanoparticles and evaluations of the cytotoxicity and DNA damage of human breast carcinoma cell lines," *Artif. Cells, Nanomedicine Biotechnol.*, vol. 46, no. 6, pp. 1215–1229, 2018.
- [9] A. V. Ramesh, D. Rama Devi, S. Mohan Botsa, and K. Basavaiah, "Facile green synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles using aqueous leaf extract of *Zanthoxylum armatum* DC. for efficient adsorption of methylene blue," *J. Asian Ceram. Soc.*, vol. 6, no. 2, pp. 145–155, 2018.
- [10] G. T. Sulungbudi and M. Ridwan, "VARIASI KOMPOSISI Fe (II)/ Fe (III) PADA PROSES PRESIPITASI," *J. Sains Mater. Indones.*, vol. 8, no. 1, pp. 31–34, 2006.
- [11] A. M. Awwad and N. M. Salem, "A Green and Facile Approach for Synthesis of Magnetite Nanoparticles," *Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 2, no. 6, pp. 208–213, 2013.