

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b> .....  | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....   | <b>ii</b>   |
| <b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....  | <b>iii</b>  |
| <b>PERNYATAAN</b> .....   | <b>iv</b>   |
| <b>PRAKATA</b> .....  | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....   | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....   | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA</b> .....  | <b>xii</b>  |
| <b>INTISARI</b> .....   | <b>xiii</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>xiv</b>  |
| <br>  |             |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....   | 5           |
| 1.3 Batasan Masalah.....  | 5           |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....  | 5           |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....   | 5           |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....   | 6           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....  | <b>7</b>    |
| 2.1 Sintesis Nanopartikel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....            | 7           |
| 2.2 Enkapsulasi atau Penambahan Surfaktan Nanopartikel Magnetik dengan Material Lain .....                    | 8           |
| <b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....   | <b>11</b>   |
| 3.1 Konsep Dasar Kemagnetan .....   | 11          |
| 3.2 Klasifikasi Sifat Kemagnetan Material.....  | 12          |
| 3.2.1 Ferromagnetik .....   | 12          |
| 3.2.2 Ferrimagnetik .....   | 13          |
| 3.3 Sifat Superparamagnetik pada Nanopartikel Magnetik.....   | 14          |
| 3.4 Konsep Domain Magnetik dan Kurva Histerisis.....  | 16          |
| 3.5 Struktur Spinel dan Nanopartikel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ..... | 17          |
| 3.6 Bahan Enkapsulasi.....  | 18          |
| 3.7 Silika (SiO <sub>2</sub> ) .....  | 19          |
| 3.8 <i>Polyethylene Glycol</i> (PEG).....   | 20          |
| 3.9 Metode Kopresipitasi.....   | 22          |
| 3.10 Karakterisasi Material.....  | 23          |
| 3.10.1 <i>X-ray Diffraction</i> (XRD) .....   | 23          |
| 3.10.2 <i>Transmission electron microscopy</i> (TEM) .....  | 24          |
| 3.10.3 <i>Vibrating Sample Magnetometry</i> (VSM).....  | 26          |
| 3.10.4 <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR).....   | 27          |
| <b>BAB IV METODE PENELITIAN</b> .....   | <b>30</b>   |
| 4.1 Bahan .....   | 30          |
| 4.2 Alat .....  | 30          |
| 4.3 Prosedur Penelitian .....   | 31          |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| 4.4                                      | Teknik Analisa Data .....  | 35        |
| 4.4.1                                    | Karakterisasi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan XRD .....                                     | 35        |
| 4.4.2                                    | Karakterisasi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan TEM .....                                     | 36        |
| 4.4.3                                    | Karakterisasi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan FTIR .....                                    | 37        |
| 4.4.4                                    | Karakterisasi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ menggunakan VSM .....                                     | 39        |
| <b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  |  | <b>41</b> |
| 5.1                                      | Hasil Sintesis Nanopartikel <i>Magnesium Nickel Ferrite</i> ( $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ ) .....                | 41        |
| 5.2                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +Silika dengan XRD .....    | 41        |
| 5.3                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +Silika dengan TEM .....    | 49        |
| 5.4                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +Silika dengan VSM .....    | 51        |
| 5.4.1                                    | Analisis koersivitas .....   | 53        |
| 5.4.2                                    | Analisis magnetisasi pada $H = 15$ kOe dan magnetisasi remanen .....   | 55        |
| 5.4.3                                    | Analisa Magnetik anisotropi pada $H = 15$ kOe .....  | 57        |
| 5.5                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +Silika dengan FTIR .....   | 58        |
| 5.6                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +PEG-4000 dengan XRD .....  | 62        |
| 5.7                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +PEG-4000 dengan TEM .....  | 68        |
| 5.8                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +PEG-4000 dengan VSM .....  | 70        |
| 5.8.1                                    | Analisis koersivitas .....   | 71        |
| 5.8.2                                    | Analisis magnetisasi pada $H = 15$ kOe dan magnetisasi remanen .....   | 72        |
| 5.8.3                                    | Analisa Magnetik anisotropi pada $H = 15$ kOe .....  | 74        |
| 5.9                                      | Karakterisasi Nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dan $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ +PEG-4000 dengan FTIR ..... | 75        |
| <b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b> |  | <b>79</b> |
| 6.1                                      | Kesimpulan .....   | 79        |
| 6.2                                      | Saran .....  | 80        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |  | <b>81</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                    |  | <b>85</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.1  | Ilustrasi dipol atomik untuk material ferromagnetik (Callister, 2007).....   | 12 |
| Gambar 3.2  | Skematik unit sel dan perilaku ferrimagnetik pada struktur spinel ferrite.....   | 13 |
| Gambar 3.3  | Transisi pada nanopartikel magnetik dari ferromagnetik ke superparamagnetik (Jun dkk., 2008) .....   | 14 |
| Gambar 3.4  | Ilustrasi konsep superparamagneti, dimana lingkaran menggambarkan tiga nanopartikel magnetik, dan panah menggambarkan arah magnetisasi dalam partikel. (a) Pada temperatur dibawah teknik pengukuran bergantung temperatur <i>blocking</i> partikel, atau waktu relaksasi $\tau$ tidak lebih lama dibandingkan waktu eksperimen $\tau_m$ , momen totalnya <i>quasi-static</i> . (b) pada temperatur diatas $T_b$ , atau $\tau$ lebih singkat daripada $\tau_m$ (Pankhurst dkk., 2003)..... | 15 |
| Gambar 3.5  | Ilustrasi histerisis loop dari ferromagnetik (Coey, 2010).....   | 16 |
| Gambar 3.6  | Struktur kristal kubik <i>ferrite</i> , (a) posisi ion logam dalam kristal tetrahedral, (b) posisi ion logam dalam oktahedral, dan (c) struktur spinel (Cullity dan Graham, 2009).....   | 18 |
| Gambar 3.7  | Gambaran skematik stabilisasi nanopartikel magnetic yang dienkapsulasi: (a) material organik, (b) molekul organik, (c) ke dalam <i>nanosphere</i> , (d) ke dalam <i>nanocapsule</i> (Reddy dkk., 2012).....  | 19 |
| Gambar 3.8  | Ilustrasi dari mekanisme sederhana untuk formasi lapisan silika pada permukaan magnetite (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ) (Setiawan dkk., 2012).....  | 20 |
| Gambar 3.9  | Skematik kemungkinan interaksi antara PEG dan nanopartikel magnetik (Covaliu dkk., 2013).....  | 21 |
| Gambar 3.10 | Difraksi Bragg pada bidang kristal (Callister, 2007).....  | 23 |
| Gambar 3.11 | Struktur TEM dan lintasan optiknya (Leng, 2008).....   | 25 |
| Gambar 3.12 | Skematik VSM (Cullity dan Graham, 2009) .....  | 26 |
| Gambar 3.13 | Diagram optik spektroskopi FTIR (Pavia dkk., 2009).....  | 28 |
| Gambar 3.14 | Vibrasi <i>stretching</i> dan vibrasi <i>bending</i> (Pavia dkk, 2009) .....   | 29 |
| Gambar 4.1  | Skema penelitian .....   | 34 |
| Gambar 4.2  | Perangkat XRD Shimadzu-XD (Laboratorium Kimia UGM).....  | 35 |
| Gamabr 4.3  | Ilustrasi spektrum puncak Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dari pengujian XRD (Pradeep dan Chandrasekaran, 2006) .....   | 35 |
| Gambar 4.4  | Perangkat TEM Joel Jem-1400 (Laboratorium Kimia UGM).....  | 37 |
| Gambar 4.5  | Ilustrasi (a) gambar TEM, (b) pola cincin difraksi, (Setiadi, 2013) .....  | 37 |

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.6  | Perangkat IR-Spektrometer Shimadzu Prestige-21 (Labortorium Kimia UGM) .....   | 38 |
| Gambar 4.7  | Perangkat VSM Rekin Denshi ( <i>Department of Quantum Engineering, Nagoya University, Japan</i> ) .....  | 39 |
| Gambar 4.8  | Ilustrasi pembesaran skala kurva histerisis untuk menentukan nilai koersivitas sampel .....  | 40 |
| Gambar 5.1  | (a) Proses pengendapan sampel saat sintesis, (b) Hasil serbuk nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ .....   | 41 |
| Gambar 5.2  | Pola XRD (a) nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ , dan (b) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dienkapsulasi dengan silika (50%).....   | 42 |
| Gambar 5.3  | Ilustrasi mekanisme enkapsulasi silika terhadap nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (Setiawan dkk., 2012) .....   | 43 |
| Gambar 5.4  | Mekanisme penumbuhan silika pada nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ .....  | 45 |
| Gambar 5.5  | (a) Pengaruh <i>strain</i> kisi pada pola dan posisi puncak difraksi (Cullity, 1956), (b) Variasi pola difraksi saat <i>strain</i> tidak seragam (Noyan dan Cohen, 1987) ..... | 46 |
| Gambar 5.6  | Morfologi dan cincin difraksi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (a) sebelum dienkapsulasi, dan (b) setelah dienkapsulasi silika (50%) .....                               | 50 |
| Gambar 5.7  | Kurva histerisis nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ .....  | 51 |
| Gambar 5.8  | Kurva histerisis dan nilai koersivitas untuk sampel A, B, C, D, E, dan F .....   | 52 |
| Gambar 5.9  | Ilustrasi hubungan koersivitas terhadap perubahan ukuran partikel (Mathew dan Juang, 2007) .....   | 54 |
| Gambar 5.10 | Spektrum FTIR (a) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ , dan (b) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + Silika (50%), dan (c) Silika .....   | 59 |
| Gambar 5.11 | Pola XRD (a) nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ , dan (b) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ dienkapsulasi dengan PEG-4000 (50%) .....  | 63 |
| Gambar 5.12 | Enkapsulasi PEG-4000 pada nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ .....   | 65 |
| Gambar 5.13 | Morfologi dan cincin difraksi nanopartikel $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ (a) sebelum dienkapsulasi, dan (b) setelah dienkapsulasi PEG-4000 (50%) .....                             | 69 |
| Gambar 5.14 | Kurva histerisis dan nilai koersivitas untuk sampel G, H, I, J, K, dan L .....   | 71 |
| Gambar 5.15 | Spektrum FTIR (a) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ , dan (b) $Mg_{0.5}Ni_{0.5}Fe_2O_4$ + PEG-4000 (50%), dan (c) PEG-4000 .....   | 75 |

## DAFTAR TABEL

|            |  |    |
|------------|--|----|
| Tabel 3.1  | Komposisi PEG dan karakteristik (Setiadi, 2013).....   | 21 |
| Tabel 4.1  | Identitas sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi silika.....   | 32 |
| Tabel 4.2  | Identitas sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi PEG-4000.....   | 33 |
| Tabel 4.3  | Tabel beberapa gugus fungsi molekul (Pavia dkk., 2009).....  | 38 |
| Tabel 5.1  | Rasio fasa sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi silika .....  | 44 |
| Tabel 5.2  | Perbandingan ukuran partikel, parameter kisi, densitas X-Ray dan <i>strain</i> nanopartikel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dan Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + silika (50%) .....   | 45 |
| Tabel 5.3  | Radius ionik dan parameter kisi dalam struktur Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> .....  | 48 |
| Tabel 5.4  | Nilai koersivitas sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah enkapsulasi silika .....   | 53 |
| Tabel 5.5  | Nilai magnetisasi pada $H = 15$ kOe dan magnetisasi remanen sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelahh enkapsulasi silika .....  | 55 |
| Tabel 5.6  | Analisa magnetik anisotropi pada $H = 15$ kOe sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah enkapsulasi silika .....   | 57 |
| Tabel 5.7  | Gugus fungsi dan bilangan gelombang FTIR sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , silika, dan Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> +silika .....  | 59 |
| Tabel 5.8  | Rasio fasa sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah dienkapsulasi PEG-4000 .....  | 64 |
| Tabel 5.9  | Perbandingan ukuran partikel, parameter kisi, densitas X-Ray dan <i>strain</i> nanopartikel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> dan Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> + PEG-4000 (50%) ..... | 66 |
| Tabel 5.10 | Nilai koersivitas sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah enkapsulasi PEG-4000 .....   | 72 |
| Tabel 5.11 | Nilai magnetisasi pada $H = 15$ kOe dan magnetisasi remanen sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelahh enkapsulasi PEG-4000 .....  | 73 |
| Tabel 5.12 | Analisa magnetik anisotropi pada $H = 15$ kOe sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> sebelum dan setelah enkapsulasi PEG-4000 .....   | 74 |
| Tabel 5.13 | Gugus fungsi dan bilangan gelombang FTIR sampel Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , PEG-4000, dan Mg <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> +PEG-4000 .....  | 76 |

## DAFTAR SIMBOL DAN KONSTANTA

|                  |  |
|------------------|--|
| $\overline{M}$   | Magnetisasi  |
| $\overline{H}$   | Medan magnet   |
| $\overline{B}$   | Induksi magnet   |
| $\chi$           | Suseptibilitas   |
| $\mu$            | Permeabilitas magnet material                                  |
| $\mu_0$          | Permeabilitas ruang hampa                                      |
| $\mu_r$          | Permeabilitas relatif  |
| $\mu_B$          | Magneton Bohr  |
| $V$              | Volume partikel  |
| $K$              | Kontanta anisotropi  |
| $\Delta E$       | Energi aktivasi  |
| $T$              | Temperatur   |
| $T_B$            | Temperatur <i>blocking</i>                                     |
| $\tau$           | Waktu relaksasi  |
| $\tau_m$         | waktu eksperimen   |
| $M_s$            | Magnetisasi saturasi   |
| $H_c$            | Koersivitas  |
| $M_r$            | Magnetisasi remanen  |
| $d$              | Jarak antar bidang   |
| $d_0$            | Jarak antar bidang keadaan setimbang                           |
| $\theta$         | Sudut  |
| $\lambda$        | Panjang gelombang  |
| $n$              | orde berkas  |
| $a$              | Parameter kisi   |
| $R$              | Jarak antara titik pusat difraksi dan tak terdifraksi          |
| $L$              | Panjang lensa TEM  |
| $\overline{\nu}$ | Frekuensi  |
| $c$              | Kecepatan cahaya ( $3 \times 10^{10}$ cm/s)                    |
| $\kappa$         | Konstanta gaya ikatan molekul                                  |
| $\sigma$         | massa atom   |
| $MR$             | Massa relatif  |
| $hkl$            | indeks Miller  |
| $t$              | Ukuran partikel  |
| $B$              | FWHM   |
| $\varepsilon$    | <i>Strain</i>  |
| $D_x$            | Densitas X-Ray   |
| $Z$              | Jumlah molekul per satuan sel                                  |
| $M$              | Berat molekul  |
| $N_A$            | Bilangan Avogadro ( $6,022 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup> ) |