

SPECIFIC ABSORPTION RATE (SAR) PADA PARTIKEL NANO Fe_3O_4 DALAM MEDAN MAGNET AC

M. Tommy Hasan Abadi^{1,*}, Nandang Mufti¹, Sunaryono¹

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No.5, Malang, 65145, Indonesia

*Email: m.tommy.1303226@students.um.ac.id

Abstrak

Partikel nano Fe_3O_4 dapat mempunyai sifat superparamagnetik yang sensitif terhadap medan magnet luar seperti medan magnet AC. Sifat ini sangat menarik untuk dikaji karena dapat dijadikan sebagai alternatif pada terapi kanker. Pada penelitian ini partikel nano Fe_3O_4 di sintesis menggunakan *template diethylamine* dengan metode kopresitasi dari pasir besi. Hasil sintesis selanjutnya di karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa Fe_3O_4 memiliki ukuran kristal sekitar 7,7 nm dengan morfologi sampel yang berbentuk *spherical*. Partikel nano Fe_3O_4 yang dihasilkan kemudian disimpan dalam wadah dengan massa 65 mg dan diletakan di tengah kumparan sebagai sumber medan magnet AC. Kemudian pada saat diberikan medan magnet AC sebesar 2,8 mT dilakukan pengukuran temperatur sebagai fungsi waktu. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa temperatur berhasil meningkat dari 28,5 °C – 34,5 °C selama 10 menit. Kemudian dilakukan pengkajian tentang efisiensi penyerapan panas yang menyebabkan peningkatan temperatur dengan menentukan nilai *Specific Absorption Rate (SAR)*. Hasil perhitungan untuk nilai SAR diperoleh sebesar 0,0058 W/g.

Kata Kunci: Pasir Besi, Fe_3O_4 , Medan Magnet AC, Temperatur, SAR.

1. Pendahuluan

Pasir besi merupakan salah satu bahan alam yang dapat digunakan untuk sintesis Fe_3O_4 . Hal ini dikarenakan pasir besi memiliki mineral magnetik yaitu magnetit (Fe_3O_4) dengan kandungan unsur Fe yang paling tinggi [1]. Keberadaan teknologi nano dapat meningkatkan keunggulan dari material sintesis Fe_3O_4 . Adapun keunggulan yang dimiliki oleh partikel nano Fe_3O_4 adalah dimanfaatkan sebagai terapi hipertermia bagi penderita kanker [2] maupun agen kontras [3].

Partikel nano Fe_3O_4 dapat mempunyai sifat superparamagnetik yang sensitif terhadap medan magnet luar seperti medan magnet AC. Sifat magnet ini dimiliki oleh Fe_3O_4 pada ukuran kritis karena terjadi transisi sifat magnet Fe_3O_4 yang semula bersifat feromagnetik menjadi superparamagnetik [4]. Kajian selanjutnya tentang sifat superparamagnetik ini dapat digunakan sebagai alternatif terapi hipertermia [5]. Prinsip kerja dari terapi hipertermia yakni mempengaruhi partikel nano Fe_3O_4 yang berada dalam jaringan tubuh penderita kanker dengan medan magnet luar AC dan frekuensi tertentu yang dapat menyebabkan peningkatan temperatur sehingga dapat membunuh sel kanker [6]. Adanya peningkatan temperatur ini dapat disebabkan karena pengaruh medan magnet luar AC, frekuensi dan massa partikel nano Fe_3O_4 yang digunakan [7].

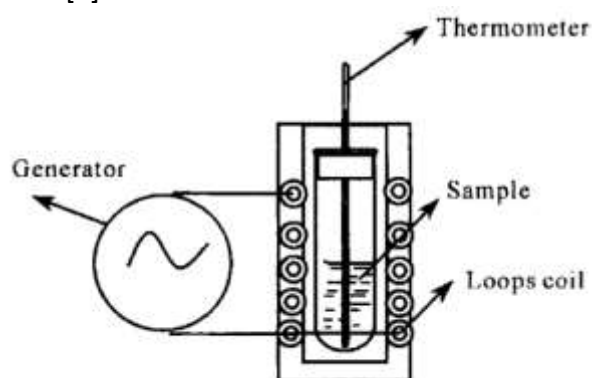
Peningkatan temperatur yang terjadi selanjutnya dikaji tentang efisiensi penyerapan panas dengan menentukan nilai *Specific Absorption Rate (SAR)*. *Specific Absorption Rate (SAR)* adalah panas yang diserap oleh partikel nano Fe_3O_4 akibat pengaruh medan magnet luar AC dan frekuensi, kemudian dilepaskan oleh partikel nano Fe_3O_4 berupa temperatur [8]. Adapun satuan untuk SAR adalah Watt/gram.

2. Metode Penelitian

Sintesis Fe_3O_4 menggunakan metode kopresipitasi dengan pasir besi sebagai sumber Fe. Langkah awal penelitian ini dengan menyiapkan pasir besi pantai Wedi Ireng Banyuwangi kemudian di separasi delapan kali berturut-turut. Sebanyak 20 gram pasir besi hasil

separasi dilarutkan dalam 58 ml HCl 12M, diaduk dengan kecepatan 750 rpm pada temperatur 70 °C. Selanjutnya titrasi larutan FeCl dengan template *diethylamine* 0,8M dan NH₄OH 6,5M dengan kecepatan 500 rpm pada temperatur ruang. Penambahan template berfungsi untuk memperkecil ukuran partikel Fe₃O₄. Hasil titrasi adalah gumpalan Fe₃O₄, kemudian dicuci dengan aquades hingga pH 7, dan dikeringkan menggunakan oven selama 1 jam. Hasil pengeringan adalah partikel nano Fe₃O₄ yang berwujud serbuk.

Partikel nano Fe₃O₄ selanjutnya di karakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui pola difraksi dan ukuran kristalnya. Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui morfologi dan ukuran butir dari senyawa Fe₃O₄. Selanjutnya dilakukan pengujian pada 65 mg partikel nano Fe₃O₄ yang diletakkan di tengah kumparan sebagai sumber medan magnet AC dengan nilai sebesar 2,8 mT dan frekuensi sebesar 343 Hz untuk mengetahui peningkatan temperatur dari massa partikel nano Fe₃O₄. Adapun skema dari pengujian pengaruh medan magnet AC dan frekuensi pada partikel nano Fe₃O₄ ditunjukkan oleh Gambar 1 [9].



Gambar 1. Skema Pengujian Pengaruh Medan Magnet AC dan Frekuensi pada Partikel Nano Fe₃O₄

3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi partikel nano Fe₃O₄ yang pertama adalah menggunakan XRD. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui pola difraksi Fe₃O₄. Berdasarkan pola difraksi senyawa Fe₃O₄ diperoleh tiga puncak utama yakni pada sudut 35,68°, sudut 57,27°, dan 63°. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan data ICSD 159964 diketahui bahwa ketiga puncak utama tersebut merupakan puncak khas yang dimiliki oleh senyawa Fe₃O₄. Analisis selanjutnya adalah melakukan perhitungan ukuran kristal dengan menggunakan persamaan Scherrer [10], seperti pada persamaan 1

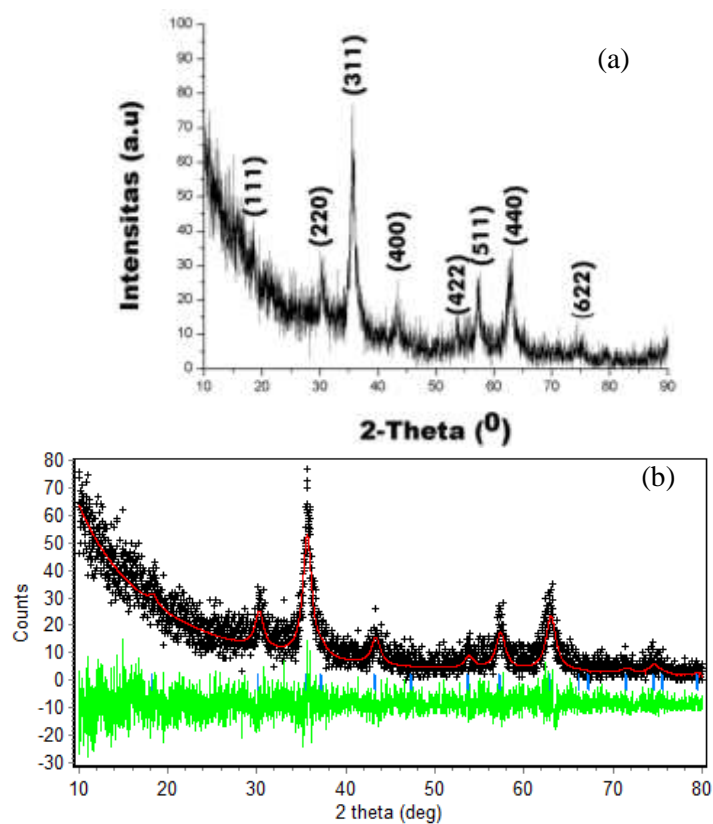
$$D = \frac{k\lambda}{B \cos \theta} \quad (1)$$

Di mana k adalah konstanta Debye-Scherrer (0,9), λ adalah panjang gelombang sinar-X (1,54 Å), B adalah nilai *Full Wide at a Half Maximum* (FWHM), θ adalah sudut difraksi Bragg (radian). Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan Scherrer diperoleh ukuran kristal sebesar 7,13 nm. Ukuran ini memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan penelitian lain yang memperoleh ukuran senyawa Fe₃O₄ sebesar 25 nm dengan penambahan template *diethylamine* [11].

Selanjutnya pola difraksi senyawa Fe₃O₄ dilakukan *refinement* dengan metode *Rietveld* untuk mengetahui kecocokan antara data eksperimen dengan data model. Data model yang digunakan adalah AMCSO no 0007424 dengan parameter $a = b = c = 8,3332$ Å. Berdasarkan hasil *refinement* diperoleh nilai keluaran yakni $R_p = 19,88$, $R_{wp} = 27,35$, dan $\chi^2 = 1,17$, serta ukuran kristal senyawa Fe₃O₄ sebesar 7,7 nm. Ukuran kristal antara perhitungan Scherrer dan hasil *refinement* memiliki hasil yang hampir sama yang mengindikasikan bahwa *refinement* dengan metode *rietveld* berhasil dilakukan.

Sedangkan apabila dibandingkan dengan penelitian lainnya bahwa ukuran kristal senyawa Fe_3O_4 memiliki nilai lebih kecil yaitu 8,4 nm [12] dan 15,6 nm [13].

Sifat kemagnetan yang khas dari senyawa Fe_3O_4 ini diprediksi muncul apabila ditinjau dari ukuran kristal senyawa Fe_3O_4 . Ukuran kristal yang berada pada ukuran kritis membuat senyawa Fe_3O_4 memiliki sifat superparamagnetik. Hal ini berdasarkan pada penelitian sebelumnya bahwa sifat superparamagnetik berhasil muncul pada senyawa Fe_3O_4 yang berukuran 10 nm [14], 15 nm [15], dan 30 nm [16]. Keberadaan sifat superparamagnetik pada senyawa Fe_3O_4 sangat penting untuk pengujian dengan pengaruh medan magnet luar AC dan frekuensi. Adapun pola difraksi senyawa Fe_3O_4 dan grafik *refinement* senyawa Fe_3O_4 ditunjukkan oleh Gambar 2.

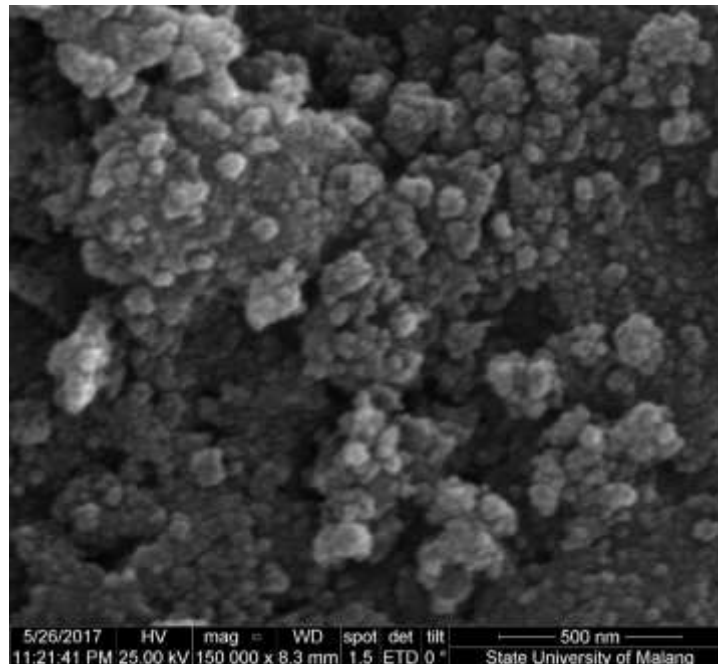


Gambar 2. (a) Pola Difraksi XRD Senyawa Fe_3O_4 , (b) Grafik *Refinement* Senyawa Fe_3O_4

Karakterisasi yang kedua adalah menggunakan SEM. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengetahui ukuran butir dan morfologi dari senyawa Fe_3O_4 . Selain itu, tingkat aglomerasi dari senyawa Fe_3O_4 dapat juga diamati dari karakterisasi SEM.

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM bahwa senyawa Fe_3O_4 memiliki ukuran butir rata-rata sebesar 24 nm. Nilai ukuran butir ini lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal senyawa Fe_3O_4 dari data XRD. Hal ini terjadi karena ukuran butir hasil SEM bukan ukuran tunggal melainkan ukuran campuran dari oksida Fe ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ dan Fe_3O_4), sedangkan pada ukuran kristal senyawa Fe_3O_4 dari data XRD merupakan ukuran tunggal dari senyawa Fe_3O_4 . Maka dari itu, hasil karakterisasi SEM memiliki ukuran butir yang lebih besar. Hasil karakterisasi SEM juga menunjukkan bahwa senyawa Fe_3O_4 mengalami aglomerasi. Aglomerasi ini disebabkan karena senyawa Fe_3O_4 tersusun dari partikel-partikel magnetik yang interaksi antar partikelnya sangat kuat [17]. Selain itu, diamati bahwa morfologi dari

senyawa Fe_3O_4 berbentuk *spherical*. Adapun karakterisasi menggunakan SEM ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Karakterisasi SEM

Pengujian selanjutnya dilakukan pada partikel nano Fe_3O_4 dengan pengaruh medan magnet luar AC dan frekuensi. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui adanya peningkatan temperatur yang terjadi dalam rentang waktu 660 detik. Hasil pengujian ini ditunjukkan oleh grafik hubungan temperatur sebagai fungsi waktu. Pada pengujian ini sampel adalah 65 mg partikel nano Fe_3O_4 yang diletakkan dalam wadah kaca. Selanjutnya sampel diletakkan di tengah kumparan sebagai sumber medan magnet AC. Medan magnet AC yang berhasil ditimbulkan adalah sebesar 2,8 mT dengan frekuensi sebesar 343 Hz. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menempatkan termokopel pada sampel. Hasil pengujian ini diperoleh bahwa temperatur berhasil meningkat secara signifikan dari $28,5^\circ\text{C}$ – $34,5^\circ\text{C}$ selama 660 detik. Peningkatan temperatur hasil eksperimen apabila dihubungkan dengan kemungkinan untuk terapi hipertermia memiliki kemungkinan yang sangat kecil. Ini dikarenakan temperatur yang digunakan untuk aplikasi hipertermia sebesar 40°C - 44°C [18,19].

Adanya Peningkatan temperatur ini selanjutnya dilakukan pengkajian untuk menentukan nilai *Specific Absorption Rate* (SAR). Nilai SAR dapat diperoleh menggunakan persamaan 2 [8].

$$SAR = C(\Delta T / \Delta t) \quad (2)$$

Di mana SAR (*Specific Absorption Rate*) merupakan panas yang diserap oleh partikel nano Fe_3O_4 dan dilepaskan dalam bentuk temperatur (W/g), C merupakan kapasitas panas Fe_3O_4 sebesar $0,651 \text{ J/gK}$ [20]. ΔT adalah perubahan temperatur ($^\circ\text{C}$). Δt adalah perubahan waktu (detik).

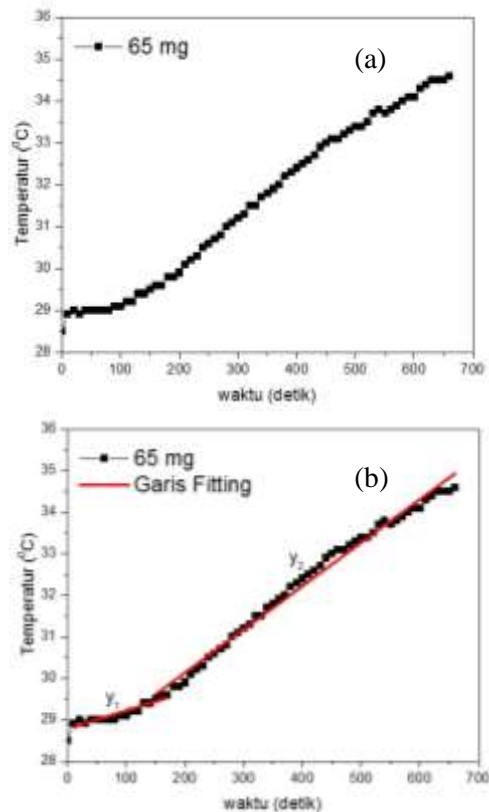
Namun, supaya nilai SAR yang diperoleh memiliki keakuratan yang tinggi maka perlu dilakukan *fitting* pada grafik. *Fitting* dilakukan menggunakan fungsi linier pada grafik hubungan temperatur sebagai fungsi waktu. Dari *fitting* grafik diperoleh nilai persamaan gradien garis yakni $y_1 = 0,00887x - 0,1139$ dan $y_2 = 0,009x + 0,2979$ dengan R^2 sebesar 0,97.

Nilai gradien garis ini kemudian dikorelasikan dengan persamaan 2 untuk mendapatkan persamaan 3.

$$SAR = C \times A \quad (3)$$

Di mana A adalah nilai gradien garis dari hasil *fitting* dengan satuan (K/s). C adalah kapasitas panas partikel nano Fe_3O_4 sebesar 0,651 J/gK [20].

Berdasarkan perhitungan dengan persamaan 3 diperoleh nilai SAR rata-rata dari sampel sebesar 0,0058 W/g. Nilai SAR ini apabila diaplikasikan untuk terapi hipertermia masih perlu dilakukan pengkajian ulang. Ini dikarenakan nilai SAR untuk terapi hipertermia sebesar 150 W/g – 400 W/g [6,21]. Adapun grafik hubungan temperatur sebagai fungsi suhu dan grafik *fitting* temperatur sebagai fungsi suhu ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Grafik Hubungan Temperatur sebagai Fungsi Waktu, dan (b) Grafik *Fitting* Temperatur sebagai Fungsi Waktu

4. Kesimpulan

Sintesis Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi berbahan dasar pasir besi telah berhasil dilakukan dengan kemunculan puncak-puncak khas pada pola difraksi sintesis Fe_3O_4 . Penambahan template *diethylamine* berpengaruh pada ukuran senyawa Fe_3O_4 yang semakin kecil. Ukuran kristal senyawa Fe_3O_4 berdasarkan perhitungan Scherrer dan hasil *refinement* memiliki nilai yang hampir sama yakni berada pada nilai 7 nm. Ukuran kristal yang berada pada nilai kritis membuat senyawa Fe_3O_4 berpotensi memiliki sifat superparamagnetik. Karakterisasi SEM menunjukkan bahwa morfologi senyawa Fe_3O_4 berbentuk *spherical* dan mengalami aglomerasi. Sedangkan hasil pengujian sampel akibat pengaruh medan magnet AC dan frekuensi diperoleh peningkatan temperatur 28,5 °C – 34,5 °C dan nilai SAR sebesar 0,0058 W/g, di mana masih perlu dilakukan pengkajian ulang untuk aplikasi hipertermia.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam penyusunan naskah artikel ini terutama kepada bapak Nandang Mufti, M.T., Ph.D dan bapak Dr. Sunaryono, M.Si.

Daftar Rujukan

- [1] H.G. Firnando (2015), Pengaruh Suhu Pada Proses Sonikasi Terhadap Morfologi Partikel dan Kristalinitas Nanopartikel Fe_3O_4 , *Jurnal Fisika Unand* **4**.
- [2] Z. Wu, Z. Zhuo, D. Cai, J. Wu, J. Wang, J. Tang (2015), An Induction Heating Device Using Planar Coil with High Amplitude Alternating Magnetic Fields for Magnetic Hyperthermia. *Technol. Health Care* **23**, S203–S209.
- [3] S. Zhu, J. Guo, J. Dong, Z. Cui, T. Lu, C. Zhu, D. Zhang, J. Ma (2013), Sonochemical Fabrication of Fe_3O_4 Nanoparticles on Reduced Graphene Oxide for Biosensors, *Ultrasonic Sonochemical* **20**, 872–880.
- [4] J. Ge, Y. Yin (2008), Magnetically Responsive Colloidal Photonic Crystals, *Journal Material Chemical* **18**, 5041–5045.
- [5] K. Murase, J. Oonoki, H. Takata, R. Song, A. Angraini, P. Ausanai, T. Matsushita (2011), Simulation and Experimental Studies on Magnetic Hyperthermia with Use of Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles, *Radiol. Phys. Technol* **4**, 194–202.
- [6] H. Nemala, J.S. Thakur, V.M. Naik, P.P. Vaishnava, G. Lawes, R. Naik (2014), Investigation of Magnetic Properties of Fe_3O_4 Nanoparticles Using Temperature Dependent Magnetic Hyperthermia in Ferrofluids. *Journal Applied Physics* **116**, 034309.
- [7] B.I. Macías-Martínez, D.A. Cortés-Hernández, A. Zugasti-Cruz, B.R. Cruz-Ortíz, E.M. Múzquiz-Ramos (2016), Heating Ability and Hemolysis Test of Magnetite Nanoparticles Obtained by a Simple Co-Precipitation Method, *Journal Applied Res. Technol* **14**, 239–244.
- [8] L.L. Lao, R.V. Ramanujan (2004), Magnetic and Hydrogel Composite Materials for Hyperthermia Applications, *Journal Mater. Sci. Mater. Med* **15**, 1061–1064.
- [9] Z. Donglin, Z. Xianwei, X.I.A. Qisheng, T. Jintian (2006), Inductive Heat Property of Fe_3O_4 Nanoparticles in AC Magnetic Field for Local Hyperthermia, *Rare Met* **25**, 621–625.
- [10] A.L. Patterson (1939), The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination, *Phys. Rev* **56**, 978.
- [11] S. Ahmad, U. Riaz, A. Kaushik, J. Alam (2009), Soft Template Synthesis of Superparamagnetic Fe_3O_4 Nanoparticles a Novel Technique, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater* **19**, 355–360.
- [12] Z.L. Liu, Y.J. Liu, K.L. Yao, Z.H. Ding, J. Tao, X. Wang (2002), Synthesis and Magnetic Properties of Fe_3O_4 Nanoparticles, *J. Mater. Synth. Process* **10**, 83–87.
- [13] T. Sulistyaningsih, S.J. Santosa, D. Siswanta, B. Rusdjarso (2017), Synthesis and Characterization of Magnetites Obtained from Mechanically and Sonochemically Assisted Co-precipitation and Reverse Co-precipitation Methods. *Int. J. Mater. Mech. Manuf* **5**.
- [14] S. Nuzully, T. Kato, E. Suharyadi (2014), Pengaruh Konsentrasi Polyethyleneglycol (PEG) pada Sifat Kemagnetan Nanopartikel Magnetik PEG-Coated Fe_3O_4 , *Jurnal Fisika Indonesia* **17**, 35-40.
- [15] M. Anbarasu, M. Anandan, E. Chinnasamy, V. Gopinath, K. Balamurugan (2015), Synthesis and Characterization of Polyethyleneglycol (PEG) Coated Fe_3O_4



- Nanoparticles by Chemical Co-precipitation Method for Biomedical Applications, *Spectrochim. Acta. A. Mol. Biomol. Spectrosc* **135**, 536–539.
- [16] N. Bao, A. Gupta (2011), Self-assembly of Superparamagnetic Nanoparticles, *J. Mater. Res* **26**, 111–121.
- [17] S. Rani, G.D. Varma (2015) Superparamagnetism and Metamagnetic Transition in Fe₃O₄ Nanoparticles Synthesized via Co-precipitation Method at Different pH, *Phys. B Condens. Matter* **472**, 66–77.
- [18] J.J.W. Lagendijk (2000), Hyperthermia Treatment Planning, *Phys. Med. Biol* **45**, R61.
- [19] A. Chalkidou, K. Simeonidis, M. Angelakeris, T. Samaras, C. Martinez-Boubeta, L. Balcells, K. Papazisis, C. Dendrinou-Samara, O. Kalogirou, O (2011), In-vitro Application of Fe/MgO Nanoparticles as Magnetically Mediated Hyperthermia Agents for Cancer Treatment, *J. Magn. Magn. Mater* **323**, 775–780.
- [20] E.F. Westrum, F. Grønvold (1969), Magnetite (Fe₃O₄) Heat Capacity and Thermodynamic Properties from 5 to 350 K, Low-Temperature Transition, *J. Chem. Thermodyn* **1**, 543–557
- [21] R.R. Shah, T.P. Davis, A.L. Glover, D.E. Nikles, C.S. Brazel (2015), Impact of Magnetic Field Parameters and Iron Oxide Nanoparticle Properties on Heat Generation for Use in Magnetic Hyperthermia, *J. Magn. Magn. Mater* **387**, 96–106.