

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.023.04

ANALISIS DIAMETER KRITIS DAN SUHU CURIE BAHAN PARMALLOY $FeCoB$ BERBENTUK BOLA-NANO SERTA PENGARUH TEMPERATUR (HEAT ASSISTED) DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM SIMULASI MIKROMAGNETIK NMAG DAN VAMPIRE

W. Nursiyanto^{1,a)}, L. Rohman^{2,b)}, A. Eko M²⁾

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta 12640

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember Jln. Kalimantan 37,
Jember 68121

Email: ^{a)}widianursiyanto@gmail.com, ^{b)}el_rahman.fmipa@unej.ac.id

Abstrak

Bahan paduan magnet (*paramalloy*) $FeCoB$ bersifat magnet kuat karena memiliki koersivitas medan magnetik yang kuat. Dari sifat yang dimiliki ini, $FeCoB$ sangat cocok digunakan sebagai bahan piranti penyimpanan data. Namun demikian, bahan *paramalloy* $FeCoB$ ini akan mengalami perubahan sifat magnetnya ketika mendapat pengaruh temperatur (*heat assisted*) yang berubah-ubah dan dimensi (diameter bola) yang berbeda. Dengan adanya kondisi tersebut, diperlukan informasi yang cukup dari bahan *paramalloy* $FeCoB$ agar menjadi efektif dan efisien ketika bahan ini digunakan sebagai bahan dasar *hard-disk*. Oleh karena itu, dilakukan analisis bahan *paramalloy* $FeCoB$ yang terdiri dari dimensi diameter yang mempengaruhi perubahan sifat magnet (diameter kritis), suhu *Curie* akibat perubahan temperatur dan diameter bahan, serta kurva histerisisnya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program simulasi mikromagnetik *Nmag* dan *Vampire*. Hasil yang didapatkan dari bahan *paramalloy* $FeCoB$ ini adalah memiliki diameter kritis sebesar 10 nm dan suhu *Curie* sebesar 700 K. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa bahan *paramalloy* $FeCoB$ akan efektif dan efisien sebagai bahan dasar *hard-disk* bila dimensi diameter yang digunakan di bawah diameteri kritis dan dioperasikan di bawah suhu *Curie*.

Kata-kata kunci: *paramalloy*, kurva histerisis, suhu *Curie*, *heat assisted*.

Abstract

The magnetic alloy material (*paramalloy*) $FeCoB$ is strongly magnetic material category because it has strong coercivity. So, $FeCoB$ is suitable for use as data storage device. However, the $FeCoB$ will be changed of its magnetic properties when it used to varying temperatures (*heat assisted*) and different dimensions (spherical diameter). Therefore, some sufficient information is required from the material when this material is used as a *hard-disk* base material. An analysis of $FeCoB$ *paramalloy* material consisting of diameter dimensions influencing the change of magnetic properties (critical diameter), *Curie* temperature due to changes in temperature and material diameter, and hysteresis curve. This research was using simulation of program micromagnetic are *Nmag* and *Vampire*. The results of this research are the critical diameter is 10 nm and value of *Curie* temperature is 700 K. The conclusion from

that results is the material will be effective and efficient as the hard-disk base material when the diameter dimension is used under critical diameter. And it will be operated under Curie temperature.

Keywords: permalloy, hysteresis curve, Curie temperature, heat assisted.

PENDAHULUAN

Pada dekade terakhir ini, telah banyak penelitian bahan magnetik film tipis yang dapat digunakan dalam peralatan yang bekerja pada frekuensi tinggi seperti kepala magnetik *Hard Disk Drive* (HDD) dalam bentuk produk *Magnetic Random Acces Memory* (MRAM). Bahan paduan FeCoB merupakan bahan magnet permalloy yang bersifat hard magnetik yang memiliki medan koersifitas kuat sehingga sangat baik untuk keperluan tersebut [1,2,3]. Pada umumnya, FeCoB digunakan sebagai lapisan bahan ferromagnetik yang dijadikan sistem *spin valve* sensor *Tunnelling Magnets Resistance* (TMR). TMR merupakan efek yang terjadi akibat adanya arus tunneling pada lapisan isolator yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain ketebalan, tegangan dan suhu pada lapisan isolator [4,5,6]

Kelebihan lain dari FeCoB adalah memiliki nilai anisotropi tinggi yang dapat diperkecil hingga ukuran nano tanpa kehilangan sifat magnet akibat efek suhu, sehingga memang layak digunakan sebagai bahan perekaman magnetis berkapasitas ultra tinggi [7]. Mekanisme penulisan data menggunakan pulsa laser dengan daya tinggi yang dikenakan pada *storage cell memory* hingga mendekati suhu *Curie* yang dinamakan *Heat Assisted Magnetic Recording* (HAMR) [7,8,9].

Temperatur *Curie* merupakan nilai temperatur ketika suatu bahan ferromagnetik tepat akan mengalami perubahan menjadi bahan paramagnetik [8]. Jika terjadi sedikit perubahan temperatur akan menyebabkan proses efek superparamagnetik yang dapat mengubah orientasi magnetisasi sehingga terjadi penyimpanan data menjadi tidak stabil dan akan rusak.

METODE PENELITIAN

Analisis diameter kritis dan suhu *Curie* bahan *perm-alloy* FeCoB dilakukan dengan metode simulasi yang menggunakan perangkat lunak domain publik : *Nmag* dan *Vampire* yang didasarkan pada persamaan *Landau- Lifshitz-Gilbert* [10].

$$\frac{dM}{dt} = -\frac{|\gamma|}{(1 + \alpha^2)} M \times H_{\text{eff}} - \frac{|\gamma|\alpha}{(1 + \alpha^2)} \frac{M}{M_s} \times (M \times H_{\text{eff}}) \quad (1)$$

dengan nilai H_{eff} :

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{applied}} + H_{\text{demag}} + H_{\text{aniso}} + H_{\text{exchange}} \quad (2)$$

Estimasi diameter kritis yang merupakan batas maksimum dalam *single-domain* (SD) menggunakan persamaan *Kittel*, *Brown* dan *R. Skomski* sebagai berikut :

Persamaan *Kittel* :

$$DC_1 = \left(\frac{9\gamma_w}{2\pi M_s^2} \right) \quad (3)$$

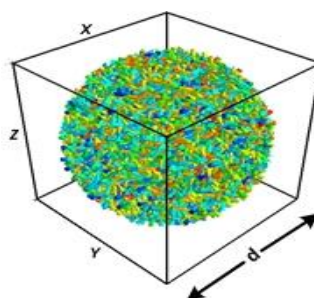
Persamaan *Brown* :

$$DC_2 = 7,211 \sqrt{\frac{2A}{\mu M_s^2}} = 7,211 I_{ex} \quad (4)$$

Persamaan *R. Skomski* :

$$DC_3 = \frac{72\sqrt{AK}}{\mu_0 M_s^2} \quad (5)$$

Bahan paduan magnet FeCoB yang digunakan memiliki geometri bola-nano (*nanosphere*) seperti terlihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Geometri FeCoB yang digunakan dalam simulasi

Digunakan beberapa parameter bahan paduan magnet FeCoB yaitu : $M_s=1,16 \times 10^6$ A/m; $K=1273$ J/m³; $A=1,37 \times 10^{-11}$ J/m; Faktor Redaman (α) = 0.05; Diameter = 5 nm – 60 nm; Medan eksternal yang diberikan mulai - 4T sampai 4T dengan tahapan perubahan sebesar 0,1T.

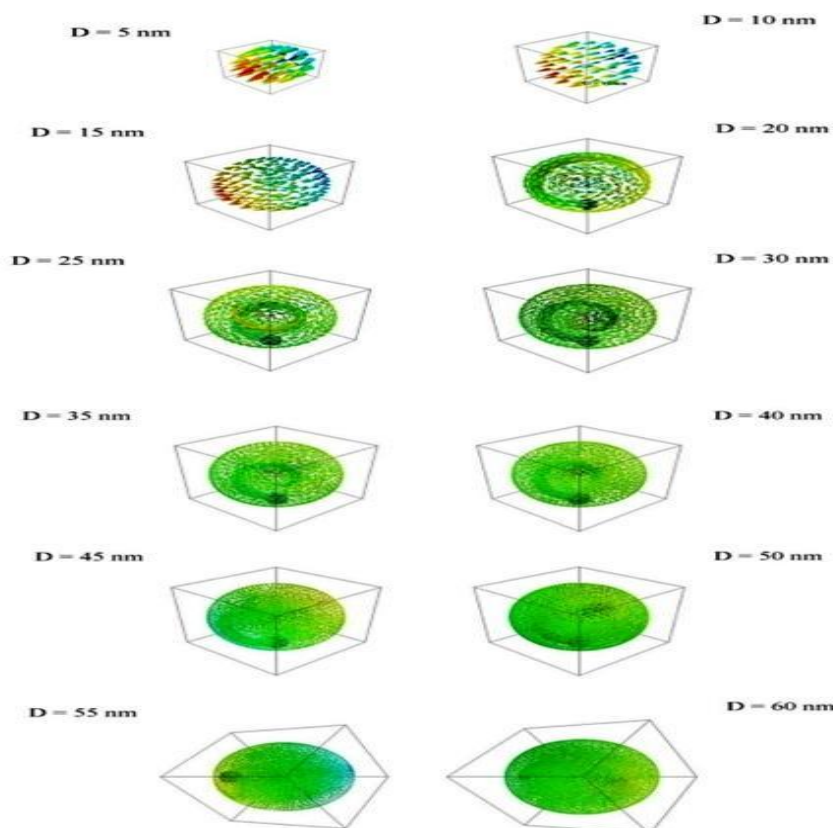
Dengan menggunakan program simulasi mikro-magnetik dapat ditentukan diameter kritis, kurva histeresis, temperatur *Curie* dan pengaruh *heat assisted* terhadap kurva histeresis dari bahan FeCoB.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diperoleh hasil terdiri dari empat bagian yaitu :

a) Penentuan Diameter Kritis

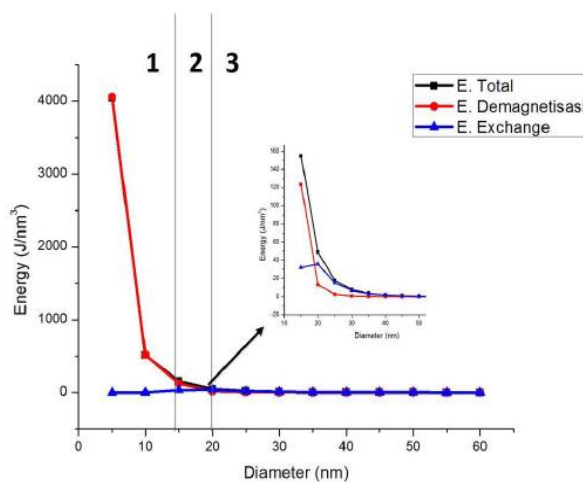
Hasil pengamatan struktur domain magnet setiap diameter (Gambar 1) dan analisa terhadap energi sistem yang berkontribusi dilakukan untuk melihat daerah transisi terjadinya perubahan struktur domain (Gambar 2) dapat menentukan diameter kritis.



GAMBAR 2. Struktur domain magnet bahan FeCoB dengan variasi diameter 5 nm – 60 nm.

Terlihat bahwa terdapat dua struktur domain magnet yang terbentuk yaitu *single-domain* dan *vortex*. Sesuai definisi bahwa diameter kritis merupakan ukuran maksimum dari keadaan single domain, maka diameter kritis dapat ditentukan pada diameter 10 nm. Pada diameter 15 nm – 60 nm struktur domainnya sudah berada dalam keadaan *vortex*.

Dari kurva antara energi sistem dengan diameter (Gambar 3) terlihat bahwa pada diameter 10 nm energi *exchange* dan energi *demagnetisasi* mengalami perubahan, hal ini memperkuat kesimpulan bahwa diameter kritis terjadi pada diameter 10 nm.



GAMBAR 3. Grafik energi sistem dari bahan FeCoB terhadap variasi diameter

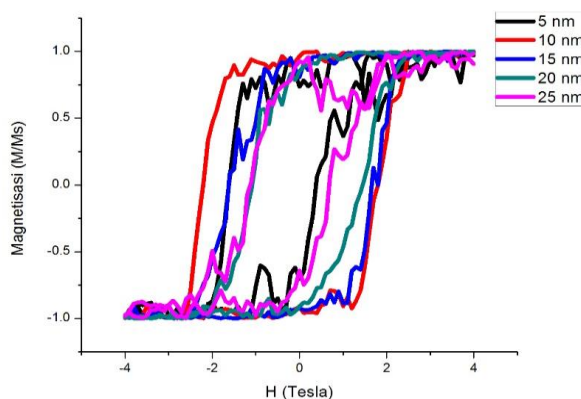
Perhitungan diameter kritis dengan menggunakan persamaan *Kittle*, *Brown* dan *R. Skomski*, diperoleh hasil yang terlihat dalam Tabel 1.

TABEL 1. Hasil perhitungan diameter kritis

Bahan	Perhitungan (nm)		
	DC_1	DC_2	DC_3
FeCoB	2,8	28,9	5,6

b) Kurva Histerisis

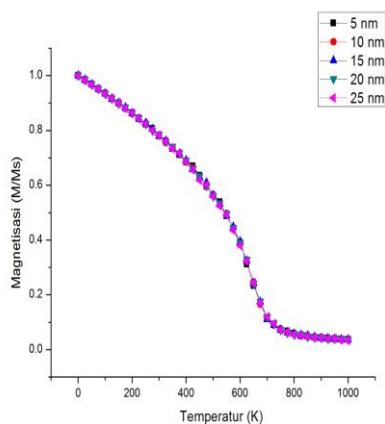
Kurva histerisis magnetisasi terhadap medan magnet eksternal ditunjukkan pada Gambar 4. Kurva histerisis yang terbentuk memperlihatkan adanya perubahan medan koersivitas dan medan saturasi terhadap variasi diameter. Medan koersivitas pada diameter 10 nm lebih besar dibandingkan dengan diameter 5 nm, sedangkan pada diameter 15 sampai 25 nm mempunyai pola menurun.



GAMBAR 4. Kurva histerisis dari bahan FeCoB terhadap variasi diameter tanpa pengaruh suhu

c) Penentuan Temperature Curie

Proses penentuan temperatur Curie juga dilakukan dengan bervariasi diameter yaitu 5 nm sampai dengan 25 nm. Besarnya suhu yang diberikan sebesar 0 sampai 1000 K dengan *step* perubahan 25 K. Kurva magnetisasi terhadap suhu ditunjukkan pada Gambar 5.

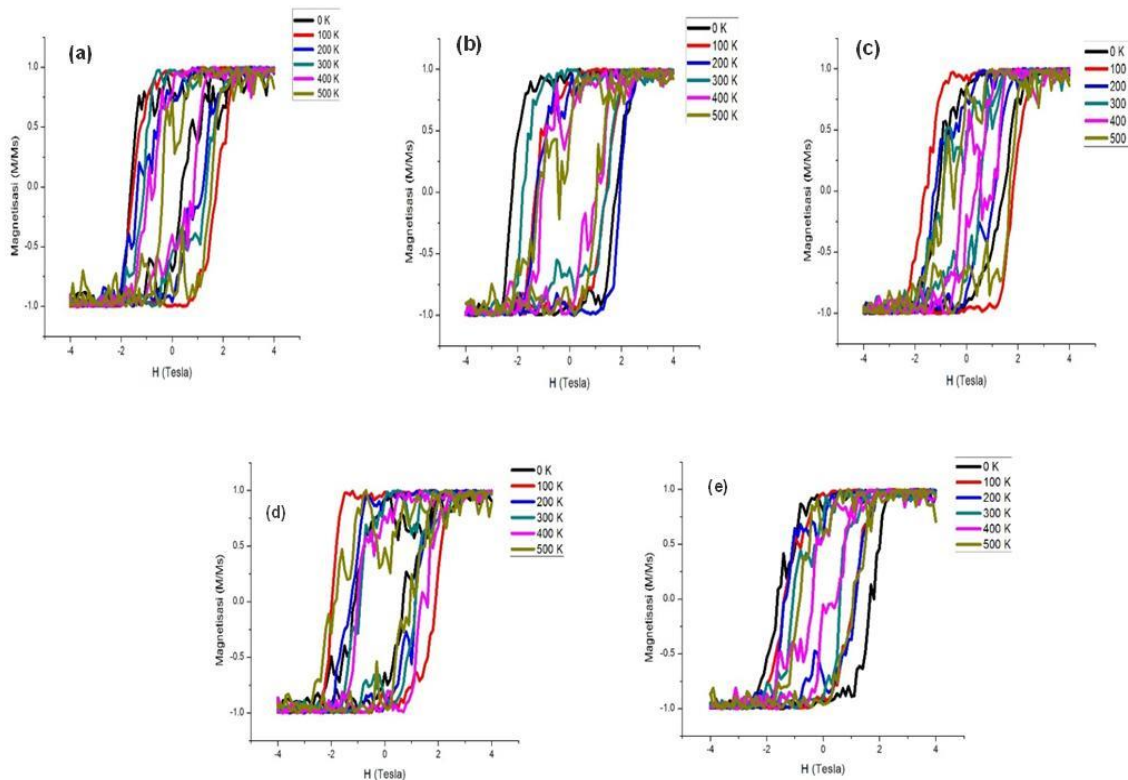


GAMBAR 5. Kurva temperature Curie dari bahan FeCoB dengan variasi diameter

Perubahan magnetisasi cenderung konstan pada temperatur di atas 700 K, oleh karena itu suhu 700 K disebut temperatur *Curie*.

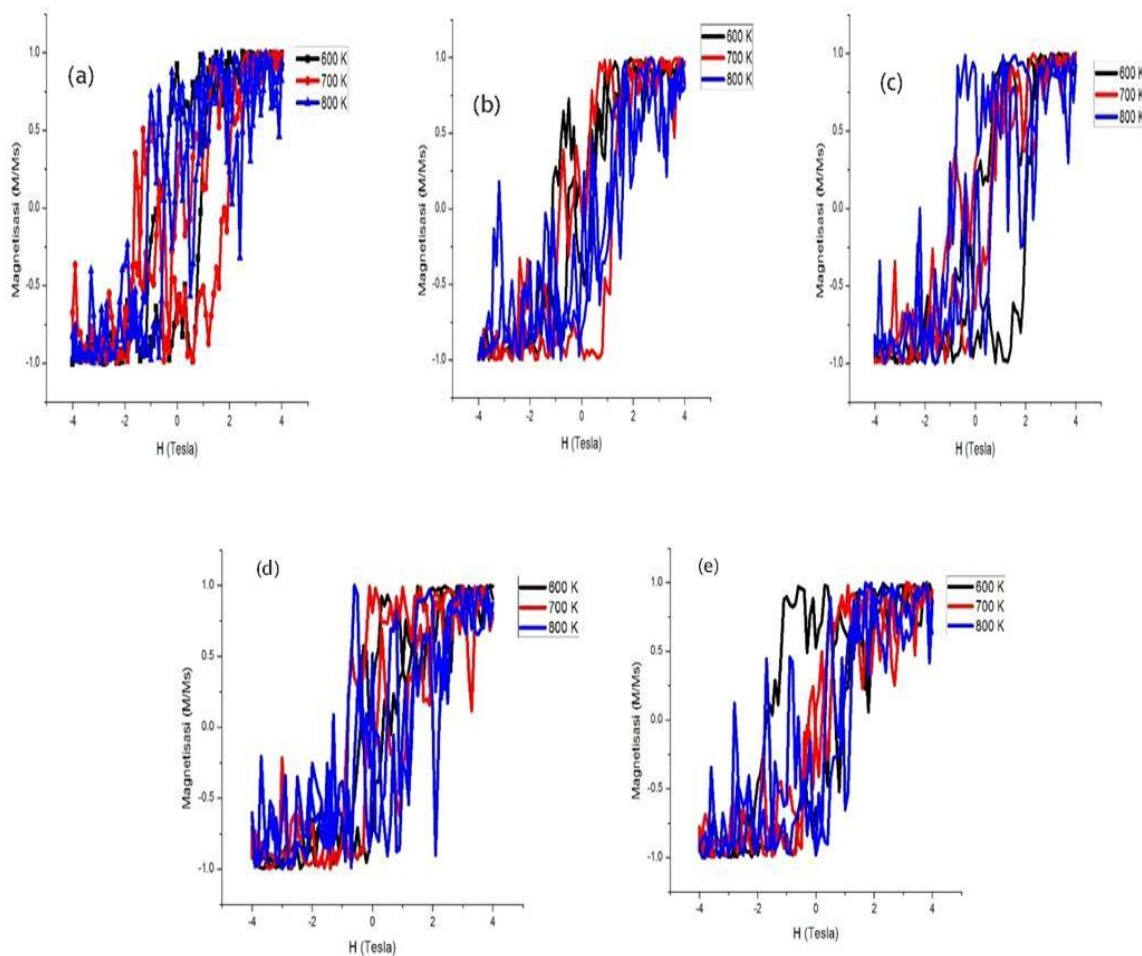
d) Pengaruh *Heat Assisted* Terhadap Kurva Histerisis

Suhu yang diberikan pada bahan FeCoB sebesar 100 K sampai 800 K. Kurva histerisis yang dihasilkan melalui proses magnetisasi terhadap pengaruh suhu dari 0 – 500 K ditunjukkan pada Gambar 6. Terlihat bahwa medan koersifitas naik pada 0-100 K dan turun pada 200–500K



GAMBAR 6. Kurva Histerisis dari bahan FeCoB pada suhu 0 K – 500 K terhadap variasi diameter (a) 5 nm (b) 10 nm (c) 15 nm (d) 20 nm (e) 25 nm

Kurva histerisis dihasilkan melalui proses magnetisasi terhadap pengaruh suhu dari 600 K - 800 K ditunjukkan pada Gambar 7. Terlihat bahwa medan koersifitas telah rusak



GAMBAR 7. Kurva Histerisis dari bahan FeCoB pada suhu 600 K – 800 K terhadap variasi diameter (a) 5 nm (b)10 nm (c)15 nm (d) 20 nm (e) 25 nm

SIMPULAN

Bahan permalloy FeCoB berbentuk bola-nano memiliki diameter kritis sebesar 10 nm, dan nilai temperatur Curie adalah 700 K. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa bahan FeCoB sangat baik untuk digunakan sebagai *hard disk drive* pada diameter 5 nm pada rentang operasi suhu 300K–400K.

REFERENSI

- [1] T. Yokoshima, S. Nakamura, D. Kaneko, T. Osaka, S. Takefusa, and A. Tanaka, "Micropattern Formation for Magnetic Recording Head Using Electroless CoFeB Deposition," *J. Electrochemical Soc.*, vol. 8, pp. C375 – C382, 2002.
- [2] I. Kim, J. Kim, and M. Yamaguchi, "Effet of Boron Contents on Magnetic Propeties of FeCoB Thin Film," *IEEE Trans. J. Magn*, vol. 40, no. 4, pp. 2706 – 2708, 2004.
- [3] R. Resti Astari, "Pengaruh Variasi Komposisi Dan Proses Pendinginan Terhadap Karakteristik Magnet Barrium Ferrite," Skripsi, Jurusan Fisika, ITS, Surabaya, 2010.
- [4] T. Shinjo, "Nanomagnetism and Spintronics," *Elsevier*, Oxford, 2009.
- [5] P. Chando, J. Gang Zhu, T. Matthew Moneck, Y. Peng, and E. David Laughlin, "Annealing effects on structural and transport properties of rf-sputtered CoFeB/MgO/CoFeB magnetic tunnel junctions," *J. Phys. Appl.*, 08A901. 99, pp 1-3, 2006.
- [6] G. Setyawan, dan E. Suharyadi, "Analisa Pergeseran Magnetic Domail Wall Pada Lapisan Tipis Free Layer CoFeB Untuk Sistem Spin-Valve Tunneling Magneto-Resistance (TMR) Sensor," *J. Fis Ind*, No. 49, vol. XVII, ISSN: 1410-2994, 2013.
- [7] U. Kilic, G. Finocchio, T. Hauet, S. H. Florez, G. Aktas, and O. Ozatay, "Magnetic switching driven by nanosecond scale heat and magnetic field pulses: An application of macrospin Landau-Lifshitz-Bloch model," *Appl. Phys. Lett.* 101, 252407, 2012.
- [8] B. Purnama, Ismail dan Suharyana, "Kajian Simulasi Mikromagnetik: Ketergantungan Medan Koersif dengan Besaran Intrinsik Nano-Dot Magnetik dengan Anisotropi Tegak Lurus," *J. Fis. Appl.*, vol. 9 No.1, ISSN 30-332013, 2013.
- [9] W. Sadnawanto, dan B. Purnama, "Modifikasi Model Thermally pada Heat Assisted Magnetisasi Reversal Nano Partikel Magnetik," *J. MIPA*, 37 (2), hal.136-140 ISSN: 0215-9945, 2014
- [10] T.L. Gilbert, "A phenomenological theory of damping in ferromagnetic materials," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 40 no.6, pp. 3443–3449, 2004.