



Analisa Pergeseran *Domain Wall* Magnetik pada *Permalloy* dengan Ukuran Nano

Anisa Indriawati

Dosen Universitas Bangka Belitung

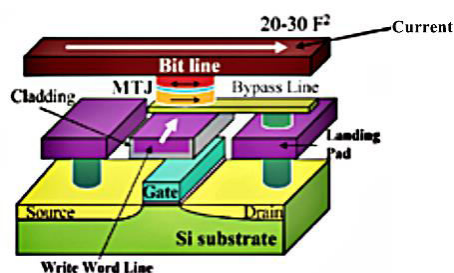
E-mailkorespondensi: anisaind.ind@gmail.com

ABSTRACT- A study of thin layer modeling of permalloy with the size size $150 \text{ nm} \times 100 \text{ nm} \times 1 \text{ nm}$ has been conducted. Modeling was done by using Object Oriented Micromagnetic Framework (OOMMF) software. The permalloy thin layer is given an external magnetic field of 0 to 1000 mT in the direction of +x, +y, and +z. the purpose of this study was to observe differences in phenomena if permalloy thin layer was given an external magnetic field in the different directions (equal magnitude). Furthermore, through this modeling can be known which direction is easier to magnetize all the magnetic moments in the permalloy thin layer. The results showed that magnetic moment of permalloy thin layer was easier to magnetized at +x direction of external magnetic field. It was most difficult to magnetize if the given directions was +z. In the external magnetic field 1000 mT at +z direction, the magnetization value was only 0.9474. It indicated that saturation has not accoured at all magnetic moments at +z direction.

Keyword: *external magnetic field, magnetization, permalloy, saturation*

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi nanomaterial dan ilmu spintronika pada devais penyimpanan data (*Magnetic recording*) telah berkembang cukup pesat. Di dalam perkembangannya, material ferromagnetik memiliki peranan yang sangat penting. Salah satu komponen penting yang memanfaatkan material tersebut adalah *Magnetic Tunnel Junction* (MTJ) yang terdapat dalam *Magnetoresistive Random Access Memory* (MRAM). Gambar 1 adalah MRAM serta komponen-komponennya.



Gambar 1. MRAM beserta komponen-komponen penyusunnya (Huai, 2008).

Melihat aplikatifnya material ferromagnetik saai ini, maka sangat diperlukan kajian mengenai sifat-sifat kemagnetan material. Salah satu material yang menjadi perhatian para peneliti ialah *permalloy*. Karakteristik *permalloy* diantaranya memiliki sifat *soft magnetic*, dan mudah dalam merespon medan magnet yang berasal dari perubahan arus yang terjadi.

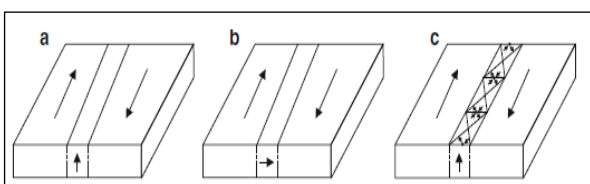
Kajian mengenai material *permalloy* sudah banyak dilakukan diantaranya Dinamika domain wall dan efek anisotropi pada material ferromagnet Co dan Ni berbentuk nanowire dimana material tersebut dibandingkan dengan *permalloy* dengan arah medan magnetic +x (Mardona 2012), simulasi mikromagnetik reversal pada nano-partikel magnetik *permalloy* (muhammady 2013), *micromagnetic simulation of the depinning field domain wall on symmetric double notch ferromagnetic wires* pada material *permalloy*, *cobalt*, dan *nickel* dengan pemberian medan

magnet luar pada arah $+x$ (Djuana *et al.* 2014), dan masih banyak lagi, namun, belum banyak ditemukan kajian yang membahas dengan detail bagaimana perbedaan fenomena pergeseran *domain wall* magnetik yang terjadi jika suatu lapisan tipis *permalloy* dengan ukuran tertentu diberi medan magnet dengan arah x, y , dan z .

Menurut Malinson (1992), lapisan tipis *permalloy* pada orde nanometer memiliki magnetisasi yang terletak di bidang (*inplane anisotropy*) jika konstanta anisotropi bernilai positif. Berdasarkan referensi Malinson, peneliti ingin melakukan pemodelan suatu lapisan tipis *permalloy* menggunakan *software Object oriented Micromagnetic Framework (OOMMF)*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis fenomena pergeseran *domain wall* magnetik ketika lapisan tipis *permalloy* diberi medan magnet dengan arah sumbu x , y , dan z , serta membuktikan apakah lapisan tipis *permalloy* memiliki arah magnetisasi pada *inplane anisotropy*.

1.1. Domain Wall Magnetik

Domain magnetik merupakan daerah pada suatu material yang terorientasi pada arah tertentu dan total magnetisasi mendekati nol. Satu domain dengan domain lainnya dipisahkan oleh *domain wall* magnetik (Getzlaff 2007). Pembentukan *domain wall* magnetik pada material feromagnetik merupakan kompetisi antara energi *exchange* dan energi anisotropi (Mardona *et al.* 2012). Perubahan *domain wall* magnetik dikenal sebagai pergeseran *domain wall* magnetik. Fenomena ini terjadi sebagai akibat dari pemberian medan magnet luar pada suatu material feromagnetik. Pergeseran *domain wall* magnetik ditandai dengan meningkatnya resultan magnetisasi.

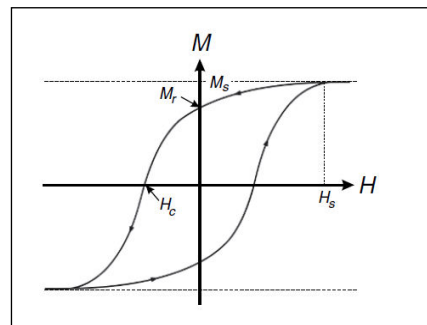


Gambar 2. Tipe magnetik *domain wall* (a) Bloch wall (b) Neel wall (c) Cross tie (Guimaraes 2009).

Bloch mengamati konfigurasi spin dalam *domain wall* magnetik berubah secara perlahan-lahan pada bidang kristal dan dikenal sebagai *bloch wall* (Kittel 2005). Pada *bloch wall*, spin berrotasi pada bidang sejajar *domain wall* magnetik. Ilustrasi *bloch wall* ditunjukkan pada Gambar 2.a. Sedangkan spin yang berrotasi sepanjang bidang lapisan tipis disebut *neel wall*. Ilustrasi *neel wall* ditunjukkan pada Gambar 2.b. *Cross tie domain wall* (Gambar 2.c) adalah keadaan antara bentuk *neel wall* dan *bloch wall*, sehingga terbentuk pola *vortex* dan *antivortex*.

1.2. Kurva Histerisis

Fenomena yang ditemukan pada suatu material feromagnetik didiskripsikan melalui kurva *histerisis loop*. *Histerisis loop* menunjukkan sifat suatu material, diantaranya menggambarkan proses nukleasi, pergeseran *domain wall* magnetik, dan rotasi koheren.



Gambar 3. Kurva histerisis loop material feromagnetik (Getzlaff 2007)

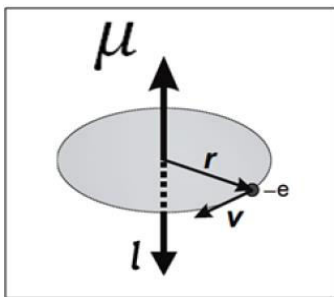
Bentuk kurva histerisis loop material feromagnetik dipengaruhi oleh magnetisasi saturasi (M_s), Magnetisasi remanen (M_r), dan medan koersivitas (H_c). Magnetisasi saturasi adalah besarnya magnetisasi setelah seluruh momen dipol magnet spin memiliki arah yang sama. Medan magnet yang dibutuhkan untuk mencapai saturasi disebut medan saturasi (H_s). Magnetisasi remanen (M_r) dalam histerisis loop merupakan besar magnetisasi yang masih tersisa ketika medan magnet dihilangkan. Selanjutnya, medan koersivitas (H_c) pada kurva histerisis yaitu besar medan magnet yang dibutuhkan untuk membawa *magnetic remanen* menuju nol (Bertotti, 1998).

Besar M_x/M_s berkisar antara $0 \leq M_x/M_s \leq 1$, nilai 1 menunjukkan bahwa seluruh spin dalam material telah tersaturasi (Coy 2009).

Berdasarkan uraian di atas, ketika material feromagnetik hanya membutuhkan medan magnet luar kecil untuk mencapai saturasi, maka material ini dikatakan bersifat *soft magnetic*. Material yang membutuhkan medan magnet luar yang besar untuk mencapai saturasi dinamakan *hard magnetic*.

1.3. Dinamika Spin dan Persamaan Landau Lifshitz Gilbert

Interaksi antara momen dipol magnet dan medan magnet luar menghasilkan torca dan energi tertentu. Momen dipol magnet berasal dari gerak muatan yang membentuk loop (Mardona, 2012). Gerakan muatan tersebut mengakibatkan timbulnya arus I sepanjang luasan S (luasan berbentuk loop akibat gerakan muatan). Gerak muatan yang membentuk loop serta arah momen magnet diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Muatan elektron yang bergerak melingkar dengan diameter r , dan kecepatan tangensial v . Momentum sudut l berlawanan arah dengan arah momen magnet (Stohr dan Siegman 2006).

Respon material saat diberi medan magnet luar dijelaskan melalui persamaan landau lifshitz (untuk faktor damping kecil) dan Gilbert (untuk faktor damping besar). Penyejajaran momen magnetik sesuai dengan medan magnet luar dapat dinyatakan:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\frac{\gamma}{(1+\alpha^2)}(\vec{M} \times \vec{H}_{eff}) - \frac{\gamma\alpha}{(1+\alpha^2)M} \times (\vec{M} \times \vec{H}_{eff}) \quad (1)$$

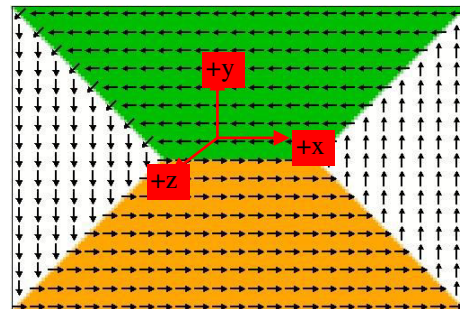
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan simulasi mikromagnetik. *Software* yang digunakan yaitu *software Object Oriented Micromagnetic Framework (OOMMF)* yang merupakan penyelesaian dari persamaan Landau-Lifshitz Gilbert. Berikut adalah persamaan landau-lifshitz gilbert. Material yang disimulasikan adalah *Permalloy* berupa lapisan tipis beukuran nano, dengan ukuran $150 \text{ nm} \times 100 \text{ nm} \times 1 \text{ nm}$. Adapun parameter yang diinput ke dalam software ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter yang diinput dalam *software*

Parameter <i>Permalloy</i>	Nilai Parameter
Magnetisasi saturasi (M_s)	$8 \times 10^5 \text{ A.m}^{-1}$
Konstanta Exchange (A)	$13 \times 10^{-12} \text{ J.m}^{-1}$
Konstanta anisotropi (K)	$0,5 \times 10^3 \text{ J.m}^{-2}$
Konstanta damping (α)	0,3 ⁻

Selanjutnya pemodelan *Lapisan tipis permalloy* dideskripsikan pada Gambar 2. Lapisan tipis *permalloy* diberi medan magnet luar dengan arah $+x$, $+y$, dan $+z$ sebesar 0 hingga 1000 mT atau 0 hingga 1 Tesla.



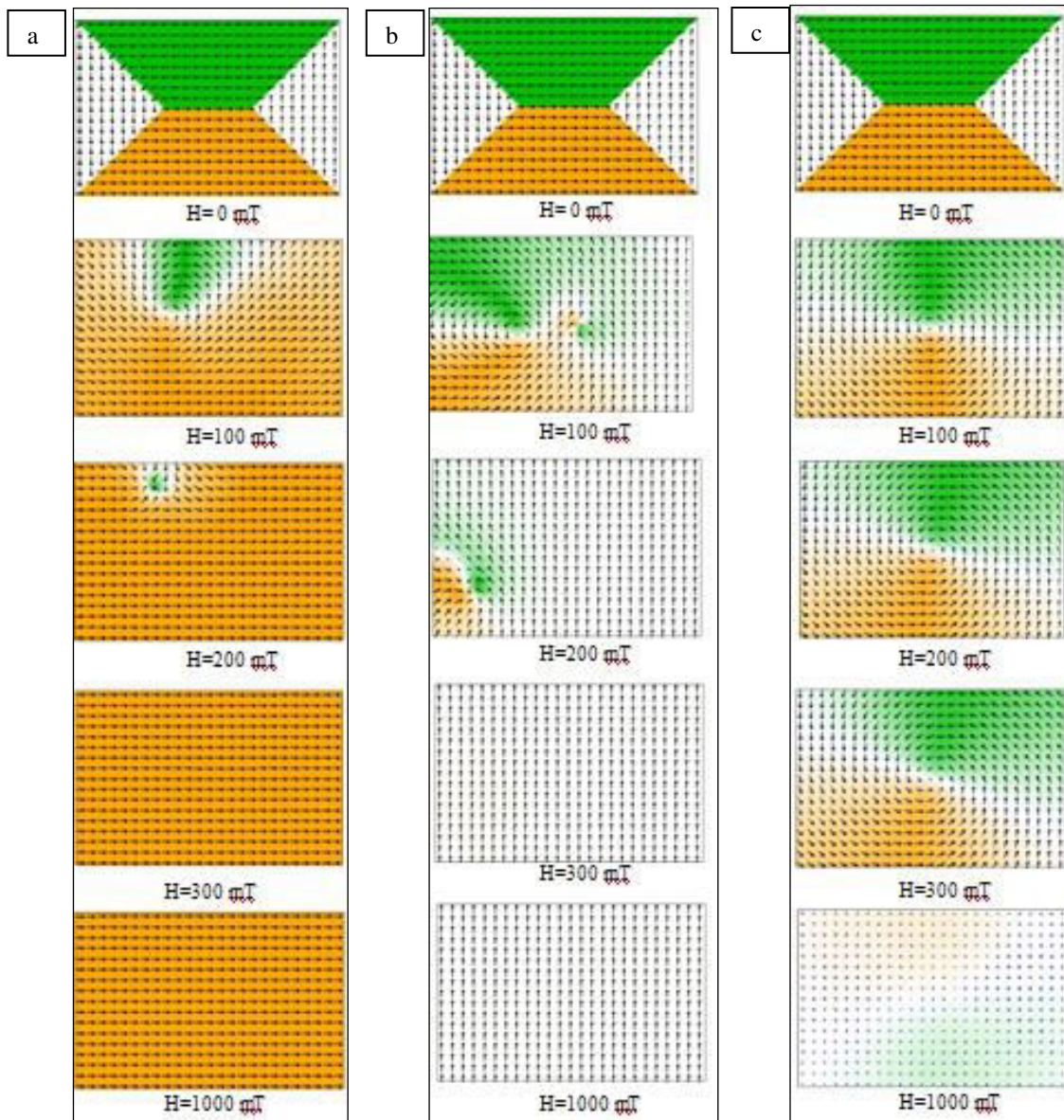
Gambar 5. Pemodelan lapisan tipis *permalloy* dengan ukuran $150 \text{ nm} \times 100 \text{ nm} \times 1 \text{ nm}$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini *permalloy* dengan empat (4) domain magnetik diberi medan magnet luar sebesar 0 hingga 1000 mT dengan arah $+x$, $+y$, dan $+z$. Dengan demikian pada penelitian ini hanya mengkaji proses magnetisasi (dari keadaan awal hingga tercapainya saturasi) dan tidak mengkaji proses pembalikan arah pada histerisis loop.

Dalam melakukan pemodelan, penelitian ini menggunakan *software* OOMMF. Melalui pemodelan tersebut fenomena pergeseran *domain wall* magnetik material *permalloy* dapat teramati (secara visual), selanjutnya hubungan antara nilai magnetisasi dan besar medan magnet luar didiskripsikan pada grafik. Grafik hubungan antara nilai magnetisasi terhadap medan magnet luar menunjukkan nilai tertentu. Nilai tersebut memperjelas perbedaan fenomena pada proses magnetisasi.

Karakteristik *permalloy* tidak terlepas dari parameter input yang diinput dalam *software*. Beberapa parameter input yang ditunjukkan pada table 1 menunjukkan bahwa konstanta anisotropi *permalloy* diasumsikan bernilai positif, serta besar konstanta damping bernilai 0.3. Melalui nilai medan saturasi pada table 1 nampak bahwa *permalloy* bersifat *soft magnetic*. Artinya *permalloy* akan sangat mudah tersaturasi, jika medan magnet luar yang diberikan sesuai dengan arah sumbu mudahnya.



Gambar 6. lapisan tipis *permalloy* dengan ukuran $150 \text{ nm} \times 100 \text{ nm} \times 1 \text{ nm}$ dengan pemberian medan magnet luar sebesar 100 mT, 200 mT, 300 mT, dan 1000 mT dengan arah $+x$ (a), $+y$ (b), dan $+z$ (c).

Hasil simulasi pergeseran *domain wall* magnetik dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6a, 6b, dan 6c masing-masing merupakan beberapa sampel hasil simulasi

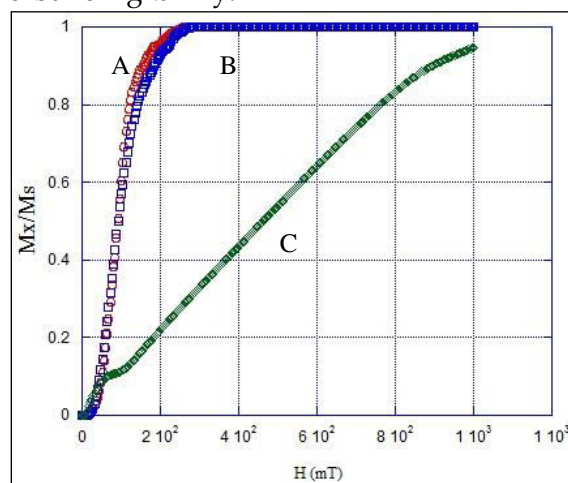
lapisan tipis *permalloy* yang diberi medan magnet luar 0 hingga 1000 mT dengan arah sumbu +x,+y, dan +z. Sempel yang ditinjau untuk menganalisis perbedaan fenomena pergeseran *domain wall* magnetic adalah ketika lapisan tipis *permalloy* dikenai medan magnet luar sebesar 100 mT, 200 mT, 300 mT dan 1000 mT.

Pada keadaan awal sebelum diberi medan magnet luar (0 mT) momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy* dengan 4 domain magnetik memiliki orientasi seperti pada gambar 2. Momen magnetik akan berusaha menyearahkan diri dengan arah medan magnet luar ketika lapisan tipis *permalloy* diberi medan magnet luar. Ketika medan magnet luar diterapkan sebesar 0 hingga 100 mT, baik arah +x, +y, maupun +z belum mampu membuat seluruh momen magnetik tersaturasi. Hal tersebut menandakan bahwa medan magnet luar yang dibutuhkan untuk mencapai saturasi lebih besar dari 100 mT kemanapun arah medannya.

Momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy* hampir secara sempurna menyearahkan diri sesuai dengan medan magnet luar ketika medan magnet luar yang diterapkan sebesar 200 mT dengan arah +x, namun hal ini belum terjadi pada arah +y dan +z. ketika medan diperbesar menjadi 300 mT, seluruh momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy* menyearahkan diri sesuai dengan arah medan magnet luar, jika arah medan magnet yang diberikan adalah arah +x, dan +y. Selanjutnya hingga medan magnet luar yang diberikan sebesar 1000 mT, jika arah medan magnet luar adalah +z, momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy* masih belum seluruhnya menyearahkan diri. Berdasarkan hasil penelitian tersebut terlihat bahwa *permalloy* lebih mudah termagnetisasi jika arah medan magnet luar yang diberikan sesuai dengan arah bidang (*inplane anisotropy*).

Pada arah medan magnetik +x dan +y sekilas nampak terjadi kemiripan fenomena, namun keduanya memiliki perbedaan. Momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy*

lebih mudah tersaturasi pada arah medan magnet luar +x dibandingkan +y, sebab, mayoritas momen magnetik pada keadaan awal lebih banyak mengarah pada sumbu +x dibandingkan +y.



Gambar 7. Grafik hubungan antara nilai magnetisasi terhadap medan magnet luar pada lapisan tipis *permalloy* dengan arah medan magnet: (A) +x, (B) +y, dan (C) +z

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa fenomena pergeseran *domain wall* magnetik mengalami perbedaan baik pada arah medan +x, +y, maupun +z (dengan besar medan magnet luar sama, yaitu 1000 mT). Sebagai contoh pada medan magnet luar sebesar 200 mT, maka nilai magnetisasi pada lapisan tipis *permalloy* jika arah medan magnet yang diterapkan +x sebesar 0.9571, selanjutnya jika arah medan magnet luar +y dan +z masing-masing adalah 0.9300, dan 0.2200. Pada medan magnet luar sebesar 1000 mT, baik jika arah medan magnet luar +x, maupun +y nilai magnetisasi yang dihasilkan sama, yaitu 0.9999, sedangkan jika arah medan magnet luar +z, nilai magnetisasi yang dihasilkan sebesar 0.947.

Setelah mengalami saturasi, nilai magnetisasi akan konstan berapapun medan magnet luar yang diberikan. Hal ini terjadi pada lapisan tipis *permalloy* dengan arah medan magnet luar +x dan +y, sedangkan pada arah +z masih mengalami peningkatan (belum konstan). Hasil yang diperoleh pada penelitian ini bergantung pada ukuran lapisan tipis *permalloy* serta parameter input

yang digunakan. Jika parameter input yang digunakan tidak sama dengan parameter input pada penelitian ini (misalnya penelitian dengan konstanta damping yang tidak sama dengan 0.3) tidak menutup kemungkinan akan menghasilkan hasil penelitian yang berbeda.

IV. SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa momen magnetik pada lapisan tipis *permalloy* telah tersaturasi pada medan magnet luar 1000 mT pada arah medan magnet luar +x, dan +y. hal yang berbeda terjadi pada arah medan magnet luar +z. Pada medan magnet luar 1000 mT belum menunjukkan fenomena saturasi untuk arah medan magnet luar +z. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet luar dengan arah +z adalah yang tersulit bagi momen magnetik untuk mengalami saturasi, dibanding arah +x dan +y. Meski demikian, pemberian medan magnet luar baik arah +x dan +y sendiri mengalami perbedaan fenomena. Arah medan magnet luar +x merupakan arah yang paling mudah bagi momen magnetik *permalloy* menyearahkan diri.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Universitas Bangka Belitung yang telah mendorong para tenaga pengajar untuk melakukan penelitian.

VI. DAFTAR PUSTAKA

Coy, J.M.D., 2009, *Magnetism and Magnetic Materials*, USA: Cambridge University Press.

- Djuana, D., Supriyanto, E., Kim, D. H. 2014. Micromagnetic Simulation Of The Depinning Field Domain Wall On Symmetric Double Notch Ferromagnetic Wires. *Makara Journal Sciences*. 18(2).
- Getzlaff, M., 2007, *Fundamentals of Magnetism*, Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Guimaraes, A.P., 2009, *Principles of Nanomagnetism*, Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Huai, Y., 2008, Spin-Transfer Torque MRAM (STT-MRAM): Challenges and Prospects, *AAPPS Bulletin*, 18(6).
- Kittel, C., 2005, *Introduction to Solid State Physics 8th*, John Wiley & Sons, Inc.
- Mallinson., 1992, *Magneto-Resistive and Spin Valve Heads Fundamental and Application*, London: Academic Press.
- Mardona, Y.,M., Supriyanto,E., and Djuana, D., 2012. Observasi Pembalikan Magnetisasi.
- Material Ferromagnet Bentuk Elemen *Diamon-Shape* dengan Simulasi Mikromagnetik, *Preseding Seminar nasional*, ITB.
- Mardona. 2012. Dinamika domain wall dan efek anisotropi pada material feromagnet Co dan Ni. *Tesis*. Universitas Indonesia
- Muhammady, S. 2013. Simulasi Mikromagnetik Magnetisasi Reversal pada Nano-Partikel Magnetik Permalloy. *Skripsi*. Universitas Sebelas Maret.
- Stohr, J., Siegmann, H.C., 2006, *Magnetism from Fundamentak to Nanoscale Dynamics*, Jerman: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.