

# Analisa Pergeseran *Magnetic Domain Wall* pada Lapisan Tipis *Free Layer* Co/Pd terhadap Pengaruh Dimensi Sampel

Umi Salamah, Edi Suharyadi\*

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia  
 Sekip Utara PO BOX BLS.21 Yogyakarta 55281, Indonesia  
 Corresponding Author : [esuharyadi@ugm.ac.id](mailto:esuharyadi@ugm.ac.id)

**Abstrak** – Telah dilakukan analisa pergeseran *magnetic domain wall* pada lapisan tipis *free layer* Co/Pd dengan menggunakan software *Object Oriented Micromagnetic Framework (OOMMF)* berdasarkan persamaan Landau-Lifshitz Gilbert (LLG). Analisa dilakukan pada ukuran 100x100 nm dengan memvariasikan ukuran ketebalan yaitu 1 nm, 3 nm, dan 5 nm. Dengan pemberian medan eksternal dari arah sumbu (+)z, magnet saturasi dicapai pada 31.290 Oe untuk ketebalan 1 nm, 30.940 Oe pada ketebalan 3 nm, dan 30.660 Oe pada ketebalan 5 nm. Selanjutnya dilakukan analisa dengan variasi ukuran pada ketebalan 5 nm yaitu 100x100 nm, 300x100 nm dan 500x100 nm. Magnet saturasi pada ukuran 300x100 nm dicapai pada pemberian medan eksternal sebesar 30.970 Oe dan magnet saturasi pada ukuran 500x100 nm dicapai pada pemberian medan eksternal sebesar 31.040 Oe.

**Kata kunci:** pergeseran *magnetic domain wall*, simulasi mikromagnetik, magnetik saturasi

**Abstract** – We have investigated the *magnetic domains wall* propagation of thin layer *free layer* Co/Pd using *Object Oriented Micromagnetic Framework (OOMMF)* based on Landau-Lifshitz Gilbert equation (LLG). Analysis performed on the size of 100x100 nm by varying the thickness: 1 nm, 3 nm, and 5 nm. With the granting of the external field in z+ direction, the magnetic saturation is achieved at 31.290 Oe with a thickness of 1 nm, 30.940 Oe at a thickness of 3 nm, and 30.660 Oe with a thickness of 5 nm. Further analysis with the variation in thickness of 6 nm size is 100x100 nm, 300x100 and 500x100 nm nm. The magnetic saturation on the size of 300x100 nm was achieved in the provision of an external field of 30.970 Oe and saturation magnetic on the size of 500x100 nm was achieved in the provision of an external field of 31.040 Oe.

**Key words:** domain magnetic propagation, micromagnetic simulation, magnetic saturation

## I. PENDAHULUAN

Industri aplikasi magnetik dalam bidang teknologi *magnetic recording* telah mengalami perkembangan yang begitu cepat. Modern *hard-disk-drive* (HDD) ada di setiap komputer dengan desain *magnetic device* berukuran nanometer. Perkembangan ini tidak terlepas dari salah satu perkembangan ilmu magnetik yaitu *spintronics*. Berbeda dengan *conventional electronic* yang hanya memanfaatkan muatan elektron saja, *spintronics* memanfaatkan muatan dan arah *spin* elektron untuk meningkatkan kemampuan, sebagai contoh adalah untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan data [3].

Co/Pd merupakan material ferromagnetik yang memiliki tekstur yang kuat, struktur, sifat listrik dan sifat magnet yang menarik serta mempunyai sifat katalisator yang baik. Pada ukuran tertentu atau sering disebut *critical size*, Co/Pd dapat menjadi *single domain*, superparamagnetik, magnetik anisotropi yang besar dan koersifitas yang maksimum [4]. Karakter anisotropi magnetik Co/Pd yang kuat membuka peluang material ini dapat dipola (pattern) dengan ukuran yang sangat kecil tanpa kehilangan karakter magnetiknya karena efek panas. Sehingga hal ini dapat membuka peluang diaplikasikan sebagai medium perekaman dengan kerapatan sangat tinggi atau memori magnetik. Oleh sebab itu, penelitian tentang pergeseran *magnetic domain wall* pada Co/Pd akan memberikan kontribusi yang penting pada perkembangan teknologi khususnya sistem penyimpanan data.

Penelitian yang telah dilakukan pada lapisan Co/Pd adalah melalui berbagai analisa eksperimen, baik dengan TEM , MFM ataupun lainnya. Fokus penelitian ini adalah pada kajian hubungan antara dimensi sampel Co/Pd dengan *magnetic domain wall*. Penyajian hasil analisa simulasi pergeseran *magnetic domain wall* lapisan tipis Co/Pd menggunakan software *Object Oriented Micromagnetic Framework (OOMMF)*. Analisa akan dilakukan dengan melihat pergeseran *magnetic domain wall* dan loop histerisis.

## II. METODE PENELITIAN

Analisa pergeseran *magnetic domain wall* pada lapisan tipis Co/Pd dilakukan dengan menggunakan software OOMMF. OOMMF merupakan software *public* yang dikembangkan oleh Mike Donahue dan Don Porter dari *National Institute of Standards and Technology (NIST)*. Simulasi OOMMF berdasarkan pada persamaan LLG[5].

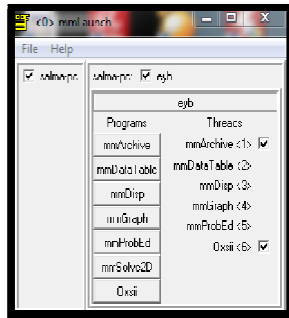
$$\frac{d\mathbf{M}}{dt} = -\frac{\gamma}{(1+\alpha^2)}(\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff}) - \frac{\gamma\alpha}{(1+\alpha^2)M}\mathbf{M} \times (\mathbf{M} \times \mathbf{H}_{eff}) \dots\dots (1)$$

Ukuran sel idealnya adalah kurang dari perubahan panjang, perubahan panjang didefinisikan sebagai berikut :

$$l_{exchange} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan  $A$  dan  $M_s$  berturut-turut adalah konstanta *exchange* dan magnetik saturasi.

Tampilan software OOMMF terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tampilan software OOMMF

Simulasi dilakukan dengan cara memberikan medan luar pada arah  $+z$  sebesar 35.000 Oersted (Oe) yang terdiri dari 500 step dan iterasi 100. Dengan adanya medan luar yang diberikan, diasumsikan akan adanya pergeseran *magnetic domain wall* mengikuti arah medan magnet luar. Dinamika spin pada simulasi dapat dijelaskan dengan menggunakan persamaan (1).

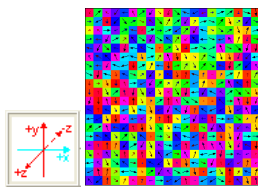
Pada simulasi variabel yang divariasikan adalah ketebalan bahan Co/Pd pada ukuran bahan  $100 \times 100$  nm. Bahan Co/Pd dengan ukuran tersebut divariasikan ketebalannya sebesar 1 nm, 3 nm dan 5 nm dengan ukuran sel  $5 \times 5 \times t$  nm<sup>3</sup>,  $t$  merupakan ketebalan sampel. Selanjutnya dari variasi ketebalan tersebut, divariasikan ukuran pada ketebalan yang diperoleh magnetik saturasi terkecil. Variasi ukuran bahan yang digunakan adalah  $100 \times 100$  nm,  $300 \times 100$  nm dan  $500 \times 100$  nm. Parameter-parameter yang dimiliki oleh Co/Pd dan digunakan sebagai *input* program adalah sebagai berikut:

$$M_s = 42.12 \times 10^4 \text{ [A/m]}$$

$$A = 3 \times 10^{-11} \text{ [J/m]}$$

$$K_u = 5.4 \times 10^5 \text{ [J/m}^3\text{]}$$

Dengan  $K_u$  adalah konstanta anisotropy bahan Co/Pd.

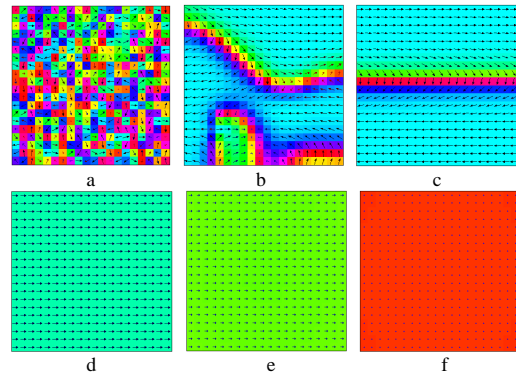


Gambar 2. Konfigurasi awal *magnetic domain wall* Co/Pd dengan sumbu  $z$  ditunjukkan dengan warna merah

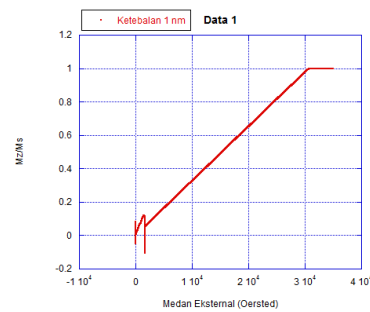
Konfigurasi awal *magnetic domain wall* Co/Pd pada arah  $x$  dipresentasikan dengan warna biru muda, arah  $y$  dengan warna merah vertikal, dan sumbu  $z$  yang merupakan arah magnetisasi dipresentasikan dengan warna merah horizontal.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi pergeseran *magnetic domain wall* dilakukandengan ukuran sel  $5 \times 5 \times t$  nm. Hasil simulasi variasi ketebalan adalah sebagai berikut:



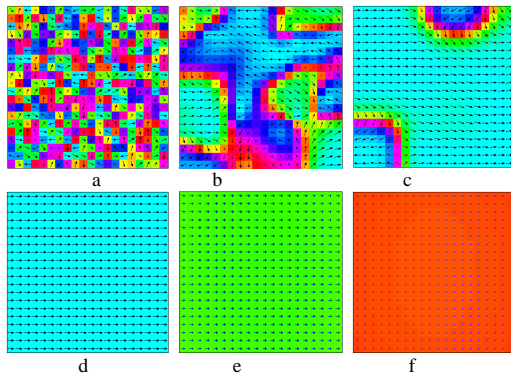
Gambar 3. Pola *magnetic domain wall* Co/Pd pada ketebalan 1 nm, a) 0 Oe, b) 70 Oe c) 140 Oe, d) 14.000 Oe, e) 25.000 Oe, f) 31.290 Oe



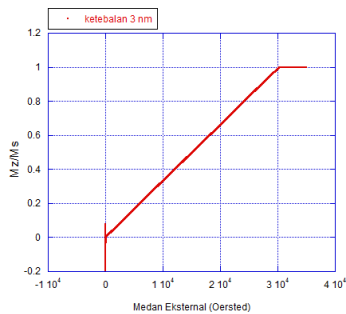
Gambar 4. Grafik histeresis loop  $M_z/M_s$  vs Medan Luar bahan Co/Pd ( $100 \times 100 \text{ nm}^2$ ) dengan ketebalan 1 nm

Co/Pd dengan ketebalan 1 nm ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar 3.a merupakan bentuk awal konfigurasi Co/Pd sebelum diberikan medan magnet luar. Konfigurasi menunjukkan Co/Pd pada kondisi awal adalah random. Gambar 3.b merupakan tampilan saat diberikan medan eksternal 70 Oe. Pada gambar tersebut memperlihatkan dengan pemberian medan eksternal sebesar 70 Oe tersebut menyebabkan terjadinya beberapa perluasan *magnetic domain wall* pada arah  $(+)$  $x$ ,  $(-)$  $x$  dan  $(+)$  $y$ . Pada saat medan eksternal yang diberikan sebesar 140 Oe, perluasan *magnetic domain wall* yang tersisa adalah pada arah  $(+)$  $x$  dan  $(-)$  $x$ , sehingga membentuk satu *stripe domain* secara horizontal. Lebar *stripe domain* yang terbentuk adalah 25 nm dan berada di tengah bidang, daerah ini merupakan perpindahan *domain wall* yang dapat bergeser seiring dengan bertambahnya medan eksternal yang diberikan, seperti terlihat pada gambar 3.c. Sedang pada gambar 3.d terlihat arah magnetisasi seluruhnya satu arah yaitu pada arah sumbu  $(+)$  $x$ . Hal ini menunjukkan bahwa pada *magnetic domain wall* Co/Pd pada ketebalan 1 nm menjadi single domain pada pemberian medan eksternal sebesar 14.000 Oe dengan arah  $(+)$   $x$  menuju ke  $(-)$  $z$ . Semakin

tinggi pemberian medan pergeseran *magnetic domain wall* semakin mengarah pada sumbu (-)z. Pada pemberian medan 25.000 Oe yang ditunjukkan pada gambar 3.e, pergeseran *magnetic domain wall* mendekati saturasi dan saturasi dicapai pada pemberian medan 31.290 Oe yang ditunjukkan pada gambar 3.f dengan nilai  $M_z/M_s$  adalah 1. Arah magnetisasi mengikuti arah medan magnet luar yang diberikan yaitu sumbu z yang ditunjukkan dengan warna merah. Gambar 4 menunjukkan grafik magnetisasi Co/Pd terlihat pada awal pergeseran arah magnetisasi belum stabil dikarenakan kondisi awal domain magnetik *random*. Hal itu terjadi pada pemberian medan magnet luar kurang dari 1.750 Oe atau terlihat pada gambar 3a s.d 3c. Grafik pergeseran *magnetic domain wall* dengan pemberian medan magnet luar di atas 1.750 Oe (3.d s.d 3.f) menunjukkan kenaikan yang teratur hingga terjadi saturasi pada pemberian medan 31. 290 Oe.



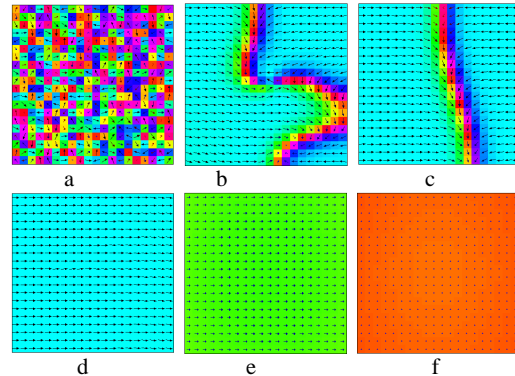
**Gambar 5.** Pola *magnetic domain wall* Co/Pd pada ketebalan 3 nm a) 0 Oe, b) 70 Oe c) 140 Oe, d) 210 Oe, e)25.000 Oe, f) 30.940 Oe



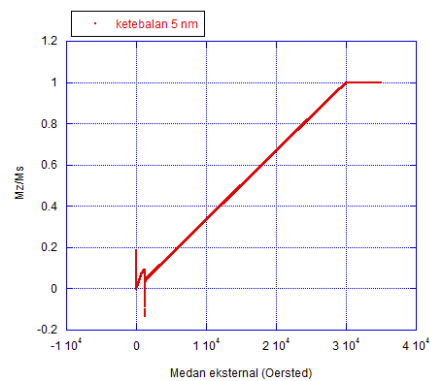
**Gambar 6.** Grafik  $M_z/M_s$  vs Medan Luar bahan Co/Pd ( $100 \times 100 \text{ nm}^2$ ) dengan ketebalan 3 nm

Hal yang sedikit berbeda terjadi Co/Pd pada ketebalan 3 nm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Gambar 5.a,5.b dan 5.c menunjukan pergeseran *magnetic domain wall* dengan perluasan pada arah (+)x. Arah magnetisasi stabil dimulai pada gambar 5.d yaitu dengan pemberian medan eksternal sebesar 210 Oe. Pada kondisi tersebut, telah membentuk *single domain* pada arah (+)x. Gambar 5.e berwarna hijau muda merupakan pergeseran *magnetic domain wall* dari arah (+)x menuju arah (-)z. Magnetisasi saturasi terjadi pada gambar 5.f yang ditunjukkan dengan

warna merah. Gambar 6 merupakan grafik pergeseran *magnetic domain wall* tersebut, kenaikan yang teratur hingga terjadi saturasi pada pemberian medan luar sebesar 30.940 Oe.



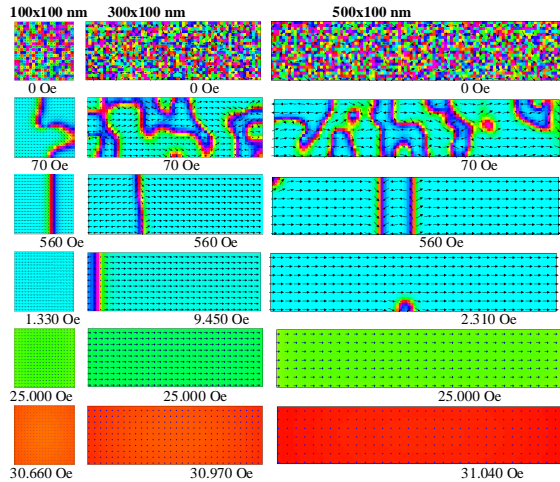
**Gambar 7.** Pola *magnetic domain wall* Co/Pd pada ketebalan 5 nm, a) 0 Oe, b) 70 Oe c) 140 Oe, d) 1.330 Oe, e)25.000 Oe, f) 30.660 Oe



**Gambar 8.** Grafik histeresis loop  $M_z/M_s$  vs Medan Luar bahan Co/Pd ( $100 \times 100 \text{ nm}^2$ ) dengan ketebalan 5 nm

Pergeseran *magnetic domain wall* Co/Pd dengan ketebalan 5 nm yang ditampilkan pada gambar 7 dan 8. Perluasan *magnetic domain wall* pada arah sumbu (-)x dan (+)x juga terjadi pada ketebalan ini, seperti yang terlihat pada 7.a, 7.b dan 7.c. Sedikit berbeda dengan ketebalan 1 nm, pada ketebalan 5 nm *stripe domain* terjadi secara vertical dengan lebar 20 nm. Pada gambar 7.d terlihat *magnetic domain wall* menjadi *single domain* pada sumbu (+) x dengan pemberian medan sebesar 1.330 Oe. Gambar 7.e merupakan pergeseran *magnetic domain wall* dari (+) x menuju arah (-)z yang ditunjukkan dengan warna hijau muda. Saturasi pada ketebalan ini terjadi pada pemberian medan ditunjukkan pada gambar 7.f. Kenaikan yang teratur untuk mencapai saturasi terjadi pada pemberian medan 1.330 Oe, seperti yang terlihat pada gambar 8. Saturasi pada ketebalan ini dicapai pada pemberian medan eksternal sebesar 30.660 Oe.

Jika dibandingkan dari ketiga pergeseran *magnetic domain wall* di atas, masing-masing mempunyai pola pergerakan yang relatif sama, yaitu perluasan pada arah sumbu x, membentuk *single domain* dan termagnetisasi pada arah sesuai dengan pemberian medan eksternal.



**Gambar 9.** Pola *magnetic domain wall* Co/Pd pada ketebalan 5 nm dengan variasi ukuran 100x100 nm, 300x100 nm, dan 500x100 nm.

Variasi ukuran pada penelitian ini dilakukan pada ketebalan dengan nilai magnet saturasi terkecil yaitu pada ketebalan 5 nm. Pada gambar 9 terlihat pola pergeseran *magnetic domain wall* dengan variasi ukuran. Pemberian medan eksternal 70 Oe menyebabkan terjadinya perluasan domain wall pada setiap ukuran. Semakin panjang ukuran sampel, semakin banyak domain wall yang terbentuk. Hal yang menarik juga terjadi pada pemberian medan eksternal 560 Oe, pada ukuran 100x100 nm dan 300x100 nm terbentuk satu *stripe domain* yang berada di antara *magnetic domain wall* dengan arah (+)x dan arah (-)x, sedangkan pada ukuran 500x100 nm terbentuk dua *stripe domain* dengan arah domain dominan ke (+)x. *Single domain* pada ukuran 100x100 nm terjadi pada pemberian medan eksternal 1.330 Oe, sedang pada ukuran 300x100 nm terjadi pada pemberian medan eksternal di atas 9.450 Oe dan pada ukuran 500x100 nm terjadi pada pemberian medan eksternal di atas 2.310 Oe. Pemberian medan eksternal sampai dengan 25.000 Oe menyebabkan pergeseran *magnetic domain wall* dari arah sumbu (+) x menuju sumbu (-)z yang terlihat dengan warna hijau muda. Magnet saturasi pada ukuran 100x100 nm dicapai pada pemberian medan eksternal 30.660 Oe, pada

ukuran 300x100 nm dicapai pada pemberian medan eksternal 30.970 Oe dan pada ukuran 500x100 nm dicapai pada pemberian medan eksternal 31.040 Oe. Hal ini ditunjukkan dengan gambar warna merah yang artinya *magnetic domain wall* termagnetisasi pada arah sumbu z.

## V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa Pergeseran *magnetic domain wall* Co/Pd akan membentuk *single domain* pada pemberian medan eksternal tertentu. Pergeseran *magnetic domain wall* tersebut dipengaruhi oleh ketebalan dan ukuran bahan Co/Pd. Bahan Co/Pd dengan ketebalan 5 nm mencapai magnetisasi saturasi dengan pemberian medan luar lebih kecil dengan ketebalan 3 nm dan ketebalan 3 nm lebih kecil dibanding 1 nm. Sehingga dapat disimpulkan semakin besar ketebals sampel yang digunakan magnet saturasi yang dicapai semakin kecil. Sedangkan, pada variasi ukuran disimpulkan semakin besar ukuran yang digunakan semakin tinggi magnet saturasinya. *Magnetic domain wall* bergeser dengan adanya penambahan medan luar sesuai dengan arah pemberian medan magnet luar.

## PUSTAKA

### Buku :

- [1] Hubert,A and Schafer,R., *Magnetic Domains 'The Analysis of Magnetic Microstructures'*,Erlangen-Nurnberg, 2009
- [2] Coey,J.M.D, *Magnetism and Magnetic Materials*, Cambridge, 2009

### Tesis :

- [4] Setyawan,G.,*Analysis of The Propagation of Magnetic Domain Wall in A Thin Free Layer CoFeB for Spin-Valve Tunnelling Magneto-Resistance (TMR) System*, Gadjah Mada University, 2013
- [5] Ballela, M.D.L., *Synthesis and Characterization of Cobalt Nanoparticles Prepared by Liquid-Phase Reduction*, University Sains Malaysia, 2008

### Artikel Jurnal:

- [6] Z.Liu, R.Brandt, O.Hellwig, S.Florez, T.Thomson, B.Terris and H.Schmidt, *Thickness dependent magnetization dynamics of perpendicular anisotropy Co/Pd multilayer films*, ELSEVIER, Journal of magnetism and magnetic materials, 2011, pp 1623-1626

### Internet:

- [7] M.J. Donahue, D.G. Porter, *OOMMF User's Guide*, 2002. Website: <http://math.nist.gov/oommf>, diakses tanggal 10 Januari 2012.