

PENGARUH BENTUK NOTCH TERHADAP KURVA HISTERISIS BAHAN FEROMAGNETIK NANOWIRE

W. Nursiyanto¹⁾, B. Soegijono²⁾, dan E. Djatmiko¹⁾

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

²Program Studi Ilmu Material, Universitas Indonesia, Jl. Salemba Raya No.4, Jakarta 10430

Email: widianursiyanto@gmail.com

Abstrak

Perangkat spintronik dan penyimpanan data berbasis magnet pada umumnya menggunakan bahan feromagnetik berbentuk *nanowire*. Bentuk dan ukuran kurva histeresis untuk material feromagnetik memiliki arti yang sangat penting dalam aplikasinya. Pada penelitian ini dilakukan investigasi kurva histeresis pada bahan feromagnetik (Fe, Ni dan Co) berbentuk *nanowire* yang di bagian tengah model *nanowire* diberikan *notch* ganda simetris berbentuk segitiga dan lengkung. Dimensi *nanowire* memiliki ukuran $2000 \times 200 \times 5 \text{ nm}^3$ dengan ukuran sel $2,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ nm}^3$ serta faktor redaman 0,01. Pengamatan secara simulasi mikromagnetik yang menggunakan perangkat lunak bernama *Object Oriented Micromagnetic Framework* (OOMMF) berdasarkan persamaan dinamika spin magnet *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG). Pada kondisi awal, diletakkan sebuah tipe struktur *domain wall* (DW) berbentuk *transverse-wall* (TW) dengan konfigurasi *head-to-head* tepat di tengah *notch*. Kemudian *nanowire* diberikan medan magnet luar arah sumbu-x dimulai dari -150 mT hingga 150 mT untuk mendapatkan kurva histeresisnya. Hasil pengamatan memperlihatkan bahwa bentuk *notch* tidak mempengaruhi kurva histeresis bahan feromagnetik. Bahan Ni memiliki nilai koersivitas sebesar 20 mT sedangkan bahan Fe dan Co memiliki nilai koersivitas sebesar 45 mT.

Kata-kata kunci: feromagnet, nanowire, notch, osilasi, mikromagnetik

Abstract

Spintronic devices and data storage which based on magnetic usually made from material of ferromagnetic nanowire. The shape and size of the hysteresis for a ferromagnetic material have a very important meaning in its application on data storage devices. In this research has investigated hysteresis of a ferromagnetic material (Fe, Ni and Co) nanowire which has been given of doubles notch symmetrically in the middle of the nanowire with the shape are triangles and arches. Dimensional of nanowire size is $2000 \times 200 \times 5 \text{ Nm}^3$ with a cell size of $2.5 \times 2.5 \times 2.5 \text{ Nm}^3$ and the factor of damping is 0.01. The simulation of micromagnetic has been observed with uses software called Object Oriented Framework Micromagnetic (OOMMF) that based on equations of magnetic spin dynamics Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) The initial condition type of structure domain wall (DW) has been given with shape transverse-wall (TW) in the middle of the notch by the configuration of head-to-head. And then nanowire has been given external magnetic field with direction of the x-axis started from -150 mT to 150 mT to get hysteresis curve. The result shows that the shape of notch does not affect the hysteresis curves of ferromag

Keywords: ferromagnetic, nanowire, notch, oscillations, micromagnetic.

1. Pendahuluan

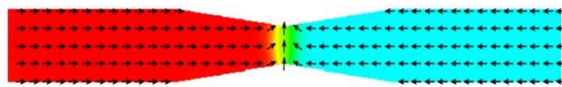
Media penyimpan berbasis magnetik (*magnetic storage*), dan sensor berbasis magnetik (*magnetic sensor*) merupakan aplikasi bidang spintronik (*spintronic device*) yang berkembang sangat cepat. Salah satu penelitian feromagnetik bentuk *nanowire* yang cukup menjanjikan sebagai media penyimpan adalah *magnetic domain-wall racetrack memory* (RM). RM ini terbuat dari bahan feromagnetik Permalloy yang mampu membawa 10 sampai 100 buah dinding domain (DW) dalam lebar *nanowire* sebesar 100 nm [1,2].

Beberapa tahun terakhir, bahan feromagnetik *nanowire* telah banyak dieksplorasi untuk

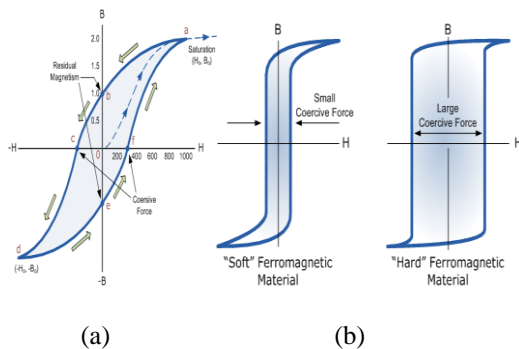
merealisasi perangkat yang didasarkan pada DW seperti logika magnetik, penginderaan dan perangkat memori [3-6]. Salah satu metode pengendalian DW yang paling layak yaitu menempatkan *notch* pada bahan *magnetic nanowire* [7-12]. Ketika DW terletak di *notch*, akan terbatas hanya pada *notch* karena energi DW lebih rendah dari daerah yang tanpa *notch*. Secara umum, *notch* yang lebih besar memberikan stabilitas yang lebih baik terhadap fluktuasi termal, tetapi membutuhkan medan magnet yang lebih besar untuk memicu gerakan DW [11].

Desain *notch* dengan kestabilan yang optimal dan terkendali merupakan masalah yang cukup penting. Bentuk *notch* berpengaruh terhadap perpindahan posisi DW. Lebar DW dengan *notch*

segitiga lebih lebar dibandingkan dengan *notch* lengkungan [13]. Dalam tulisan ini, pada bahan Feromagnetik *nanowire* dengan *notch* simetri berbentuk segitiga dan lengkung di tengahnya yang pada keadaan awal memiliki konfigurasi head-to-head seperti ditunjukkan pada Gambar 1, kemudian diberikan medan magnet luar yang arah sumbu-*x* untuk mendapatkan kurva histerisis. Kurva histerisis merupakan karakterisasi material magnet yang menggambarkan material dapat dimagnetisasi atau didemagnetisasi. Bahan feromagnetik yang memiliki permeabilitas awal yang tinggi dan koersivitas yang rendah (*soft magnetic material*) seperti terlihat pada Gambar 2 merupakan bahan yang diperlukan untuk perangkat spintronik.



Gambar 1. Konfigurasi head to head dengan notch segitiga [6].



Gambar 2. (a) Kurva histerisis (b) Histerisis soft magnetic and hard material ferromagnetic [14].

2. Metode Penelitian

Osilasi DW dalam feromagnetik *nanowire* dilakukan dengan metode simulasi yang menggunakan perangkat lunak domain publik, OOMMF [15] didasarkan pada persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert [16].

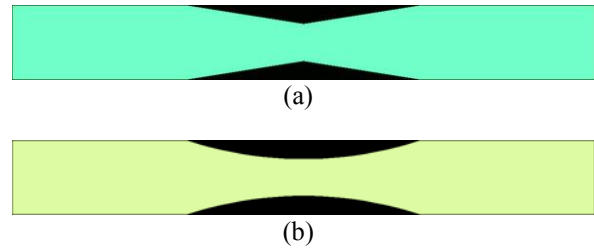
$$\frac{dM}{dt} = -\frac{|\gamma|}{(1+\alpha^2)} M \times H_{eff} - \frac{|\gamma|\alpha}{(1+\alpha^2)} \frac{M}{M_s} \times (M \times H_{eff}) \quad (1)$$

dengan nilai H_{eff} :

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

Dimensi kawat nano dalam penelitian ini adalah $2000 \times 200 \times 5 \text{ nm}^3$ dengan *notch* segitiga dan

lengkung seperti terlihat pada Gambar 3. Ukuran sel simulasi mikromagnetik adalah $2,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ nm}^3$. Nilai konstanta redaman dalam persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert dipilih 0,01.



Gambar 3. Dimensi nanowire dengan bentuk notch (a) segitiga dan (b) lengkung.

Hubungan antara medan magnetik yang diberikan pada bahan (H) dengan kerapatan fluks magnetik (B) akan meningkat dengan faktor permeabilitas relatif dari bahan dibandingkan dengan kerapatan fluks magnetik dalam ruang hampa, $\mu_0 H$. Hubungan tersebut diberikan sebagai :

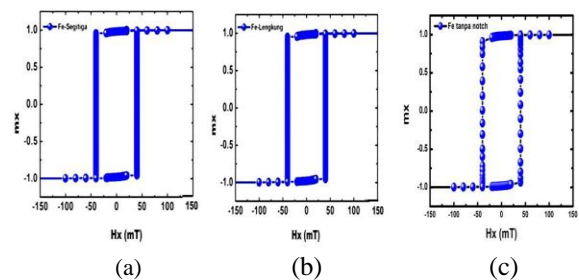
$$B = \mu_0 H \quad (3)$$

dengan μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa yang nilainya, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$

Dalam penelitian ini digunakan medan magnet luar (H) mulai dari -150 mT hingga 150 mT.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil kurva histerisis bahan Fe dengan *notch* segitiga, lengkung dan tanpa *notch*, ketika diberi medan luar mulai dari -150 mT hingga 150 mT terlihat pada Gambar 4.

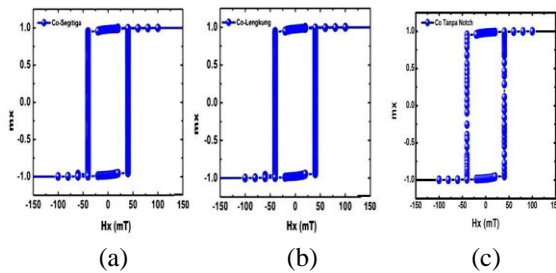


Gambar 4. (a) Kurva histerisis Fe dengan notch segitiga, (b) notch lengkung dan (c) tanpa notch.

Kurva histerisis bahan Fe dengan *notch* segitiga dan lengkung memiliki koersivitas (H_c) yang sama, demikian pula pada histerisis bahan Fe yang tanpa diberi *notch* yaitu sebesar 45 mT. Yang

membedakan bentuk kurva histerisis antara bahan yang diberi *notch* yaitu pada kerapatan data m_x . Pada bahan yang diberi *notch* data m_x lebih rapat dibandingkan dengan yang tanpa diberi *notch*, hal ini menunjukkan bahwa pada bahan yang diberi *notch* pergerakan posisi DW benar adanya.

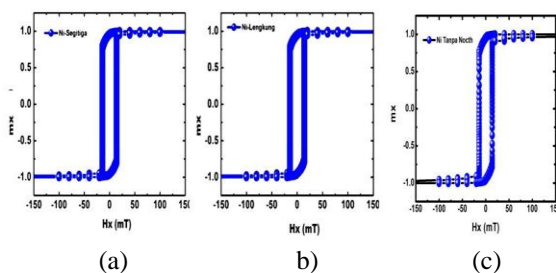
Hasil kurva histerisis bahan Co dengan *notch* segitiga, lengkung dan tanpa *notch*, ketika diberi medan luar mulai dari -150 mT hingga 150 mT terlihat pada Gambar 5



Gambar 5. (a) Kurva histerisis Co dengan *notch* segitiga, (b) *notch* lengkung dan (c) tanpa *notch*

Seperti halnya pada bahan Fe, kurva histerisis bahan Co dengan *notch* segitiga dan lengkung memiliki koersivitas (H_c) yang sama, demikian pula pada histerisis yang tanpa diberi *notch* yaitu sebesar 20 mT. Hanya saja kurva histerisis bahan Co tanpa diberi *notch* menghasilkan data m_x lebih rapat dibandingkan dengan bahan Fe.

Hasil kurva histerisis bahan Ni dengan *notch* segitiga, lengkung dan tanpa *notch*, ketika diberi medan luar mulai dari -150 mT hingga 150 mT terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. (a) Kurva histerisis Ni dengan *notch* segitiga, (b) *notch* lengkung dan (c) tanpa *notch*

Kurva histerisis bahan Ni dengan *notch* segitiga, lengkung dan tanpa *notch* memiliki koersivitas (H_c) yang sama, yaitu sebesar 20 mT. Dengan demikian bahan Ni memiliki nilai koersivitas paling rendah dibandingkan dengan bahan Fe dan Co. Dengan kondisi ini, bahan Ni ketika diberi medan luar yang kecil saja sudah merubah posisi DW. Hal ini mengakibatkan bahan Ni yang diberi *notch* simetri ketika diberi medan magnet luar AC menghasilkan lebar DW yang lebih besar dibandingkan dengan

bahan Fe dan Co. Lebar DW bahan Ni yang diberi *notch* ketika mendapatkan medan magnet luar AC dengan frekuensi sebesar 0,5 GHz – 2.0 GHz antara 116 nm – 136 nm, sedangkan bahan Fe dan Co menghasilkan lebar DW antara 47nm – 74 nm, [17]

Dari kurva histerisis dapat diperoleh nilai koersivitas dari bahan feromagnetik Fe, Co dan Ni seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koersivitas bahan Fe, Ni dan Co dengan *notch* segitiga, lengkung dan tanpa *notch*

Notch	Koersivitas (mT)		
	Fe	Co	Ni
Segitiga	45	45	20
Lengkung	45	45	20
Tanpa	45	45	20

4. Kesimpulan

Bahan feromagnetik Fe, Co dan Ni yang diberi *notch* ganda simetri berbentuk segitiga dan lengkung ketika diberi medan magnet luar tidak merubah kurva histerisis. Nilai koersivitas bahan Ni lebih rendah dibandingkan dengan koersivitas bahan Fe dan Co. Nilai koersivitas Ni sebesar 20 mT, sedangkan nilai koersivitas Fe dan Co sebesar 45 mT.

Daftar Acuan

- [1] Wolf, S. A. et al., Spintronics: A spin-based electronics vision for the future, *Science* 294, 1488 (2001).
- [2] Parkin, S. S., Hayashi, M., dan Thomas, L., Magnetic domain wall racetrack memory, *Science* 320, 190 (2008).
- [3] R.P. Cowburn and D. Petit, Spintronics : Turbulence ahead, *Nat. Mater.* 4, 721 (2005).
- [4] D.A. Allwood, G. Xiong, M.D. Cooke, C.C.. Faulkner, D. Atkinson, N. Vernier, and R.P. Cowburn, Submicrometer Ferromagnetic NOT Gate and Shift Register, *Science* 296, 2003 (2002).
- [5] D.A. Allwood, G. Xiong, C.C.. Faulkner, D. Atkinson, D. Petit, and R.P. Cowburn, Magnetic Domain-Wall Logic *Science* 309, 1688 (2005).
- [6] D. Djuhana, H.-G. Piao, S.-H. Lee, D.-H. Kim, S.-M. Ahn, and S.-B. Choe, Oscillatory transform-tive domain wall inner structure of the depinning domain wall around a notched ferromagnetic wire, *Appl. Phys. Lett.* 97, 022511 (2010).
- [7] M. Tsoi, R. E. Fontana, and S. S. Parkin, Dynamics of Domain Wall Motion in Wires with Perpendicular Anisotropy, *Appl. Phys. Lett.* 83, 2617 (2003).
- [8] J. Grollier, P. Boulenc, V. Cros, A. Hamzi, A. Vaures, A. Fert, and G. Faini, Switching a spin

- valve back and forth by current-induced domain wall motion, *Appl. Phys. Lett.* 83, 509 (2003).
- [9] C. K. Lim, T. Devolder, C. Chappert, J. Grollier, V. Cros, A. Vaures, A. Fert, and G. Faini, Domain wall displacement induced by subnanosecond pulsed current, *Appl. Phys. Lett.* 84, 2820 (2004).
- [10] S. Lepadatu and J. B. Xu, Direct observation of domain wall scattering in patterned Ni₈₀Fe₂₀ and Ni nanowires by current-voltage measurements, *Phys. Rev. Lett.* 92, 127201 (2004).
- [11] M. Klaui, H. Ehrke, U. Rudiger, T. Kasama, R. E. Dunin-Borkowski, D. Backes, L.J. Heyderman, C. A. F. Vaz, J. A. C. Bland, G. Faini, E. Cambril, and W. Wernsdorfer, Direct observation of domain-wall pinning at nanoscale constrictions, *Appl. Phys. Lett.* 87, 102509 (2005).
- [12] K.-J. Kim, C.-Y. You, S.-B. Cho, Numerical Formula of Depinning Fields from Notches in Ferromagnetic Permalloy Nanowire, *Journal of Magnetism* 13(4) (2008), p. 136-139.
- [13] W. Nursiyanto, B. Soegijono, D. Djuhana dan L. Rohman, Investigasi Osilasi, Struktur dan Lebar Domain Wall di Sekitar Notch Segitiga dan Lengkung Pada Fe Nanowire Akibat Medan Luar (AC Field), *Prosiding Seminar Fisika ISSN 2339-0654* (2014), p. 306-308
- [14] <http://www.electronics-tutorials.ws/electromagnetism/magnetic-hysteresis.html>, (2015).
- [15] M.J. Donahue and D.G. Porter, OOMMF User's Guide [Online]. Available: <http://math.nist.gov/oommf> (2002).
- [16] T.L. Gilbert, A phenomenological theory of damping in ferromagnetic materials, *IEEE Trans. Magn.* 40(6) (2004), p. 3443–3449
- [17] W. Nursiyanto, Analisis Osilasi dan Struktur Domain Wall di Dalam Konstriksi Notch Pada Bahan Feromagnetik (Fe, Co, Ni) Berbentuk Nanowire, Disertasi, Universitas Indonesia (2014).