

DOI: doi.org/10.21009/SPEKTRA.011.13

AMPLITUDO OSILASI POSISI DOMAIN WALL BAHAN FEROMAGNETIK NANOWIRE BERKONTRIKSI SEGITIGA KETIKA DIBERI MEDAN LUAR AC DENGAN AMPLITUDO 2 MILITESLA

W. Nursiyanto^{1,a)}, B. Soegijono^{2,b)}, E. Djatmiko^{1,c)}

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: a)widianursiyanto@gmail.com, b)bambangsg11@yahoo.com, c)eddydjatmiko@gmail.com.

Abstrak

Banyak para peneliti menyoroti bahan feromagnetik bentuk *nanowire* dalam kaitan dengan aplikasi *magnetic storage*, sebagai penyimpan data berbasis magnet. Oleh karena itu, telah dilakukan pengamatan amplitudo osilasi *domain wall* (DW) pada bahan feromagnetik *nanowire* berukuran $2000 \times 200 \times 5 \text{ nm}^3$ dengan konstriksi (*notch*) simetri berbentuk segitiga yang diberi medan magnet luar AC dengan amplitudo $2,0 \text{ mT}$ dan variasi frekuensi dari $0,3 \text{ GHz}$ sampai $2,0 \text{ GHz}$. Diperoleh data yang berasal dari operasi simulasi mikromagnetik dengan menggunakan perangkat lunak bernama "*Object Oriented Micromagnetic Framework*" (OOMMF) berdasarkan persamaan dinamika spin magnet **Landau-Lifshitz-Gilbert** (LLG). Hasil pengolahan data pengamatan memperlihatkan bahwa osilasi DW memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi medan magnet luar yang diberikan. Posisi DW untuk bahan Fe tidak mengalami pergeseran dan menghasilkan nilai amplitudo DW yang stabil. Sedangkan bahan Ni dan Co mengalami pergeseran dari posisi ekuilibrium yaitu ke arah sumbu x-positif dan nilai amplitudo DW semakin kecil dengan meningkatnya frekuensi medan luar.

Kata-kata kunci: feromagnetik, nanowire, notch, osilasi, amplitudo.

Abstract

Many researchers interested to know about the nanowire ferromagnetic material for the application of magnetic storage as magnet-based data storage. Therefore, it has been observed amplitude of the domain wall oscillation in the nanowire ferromagnetic material by dimension of $2000 \times 200 \times 5 \text{ nm}^3$ have given the symmetrical triangular notch in the center. After that, external magnetic field with amplitude of 2.0 mT and variation of frequency from 0.3 GHz to 2.0 GHz given to the sample. The data get from micro magnetic simulation by using software called "Object Oriented Micro Magnetic Framework" (OOMMF) which it working based on magnetic spin dynamics equation of **Landau-Lifshitz-Gilbert** (LLG). The results showed that oscillations DW have same number with frequency of the external magnetic field. For Fe material, DW position does not shift from the position of equilibrium and produce amplitude of DW almost stable. While for the material Ni and Co, the result was different showed that position of DW have shifted to the x-axis positive and have amplitude tend smaller when the frequency of the external field increased.

Keywords: ferromagnetic, nanowire, notch, oscillation, amplitude.

1. PENDAHULUAN

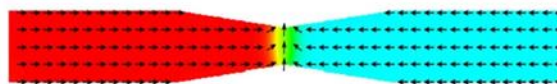
Akhir-akhir ini, para ilmuwan terfokus pada bahan feromagnetik dalam penelitiannya. Hal ini disebabkan potensi bahan feromagnetik untuk diaplikasikan dalam perangkat spintronik (*spintronic device*) yaitu media penyimpanan berbasis magnetik (*magnetic storage*), dan sensor berbasis magnetik (*magnetic sensor*) cukup besar. [1].

Salah satu penelitian feromagnetik bentuk *nanowire* diaplikasikan sebagai media penyimpanan yaitu *magnetic domain-wall racetrack memory* (RM). RM ini terbuat dari bahan feromagnetik *Permalloy* yang mampu membawa 10 sampai 100 buah dinding domain (*domain wall*) dalam lebar *nanowire* sebesar 100 nm [2].

Bahan feromagnetik *nanowire* telah banyak dieksplorasi dalam beberapa tahun terakhir untuk realisasi perangkat yang didasarkan pada pemahaman dan pengendalian 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].

Secara umum, *notch* yang lebih lebar memberikan stabilitas yang lebih baik terhadap fluktuasi termal, tetapi membutuhkan medan magnet yang lebih besar untuk memicu gerakan DW [11]. Hal ini disebabkan karena energi DW pada *notch* lebih rendah dari daerah yang tanpa *notch*.

Dalam penelitian ini, bahan feromagnetik *nanowire* dengan *notch* simetri berbentuk segitiga di tengahnya yang pada keadaan awal memiliki konfigurasi *head-to-head* seperti ditunjukkan pada Gambar 1, diberikan medan magnet luar yang sejajar dengan *nanowire* untuk mengetahui osilasi posisi DW dan besarnya amplitudo osilasi.



GAMBAR 1. Konfigurasi head to head pada fero-magnetik nanowire [6]

2. METODE PENELITIAN

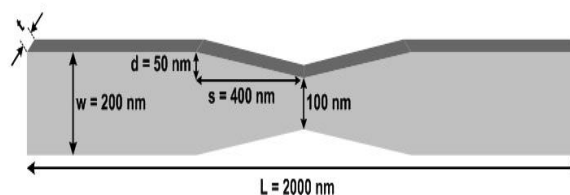
Penelitian dilakukan dengan metode simulasi yang menggunakan perangkat lunak domain publik OOMMF [13], yang akan diperoleh data osilasi DW dari bahan feromagnetik *nanowire* berdasarkan persamaan **Landau-Lifshitz-Gilbert** [14].

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

dengan nilai H_{eff} :

$$H_{eff} = H_{applied} + H_{demag} + H_{uniso} + H_{exchange} \tag{2}$$

Bahan feromagnetik *nanowire* yang digunakan memiliki dimensi $2000 \times 200 \times 5 \text{ nm}^3$ yang diberi *notch* segitiga simetri ditengahnya seperti terlihat pada Gambar 2. Ukuran sel simulasi mikromagnetik adalah $2,5 \times 2,5 \times 2,5 \text{ nm}^3$ dan nilai konstanta redaman α dalam persamaan **Landau-Lifshitz-Gilbert** dipilih 0,01.



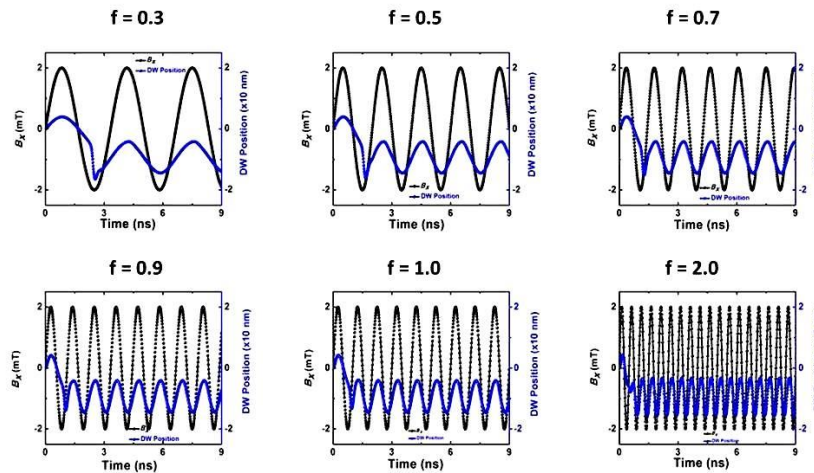
GAMBAR 2. Dimensi feromagnetik nanowire dengan notch segitiga. [15]

Digunakan medan magnet luar bolak-balik dengan amplitudo $A = 2,0 \text{ mT}$ dan variasi frekuensi: $f = 0,3; 0,5; 0,7; 0,9; 1,0$ dan $2,0 \text{ GHz}$, berdasarkan persamaan:

$$H_{\text{applied}}(t) = A \sin(2\pi ft) \quad (3)$$

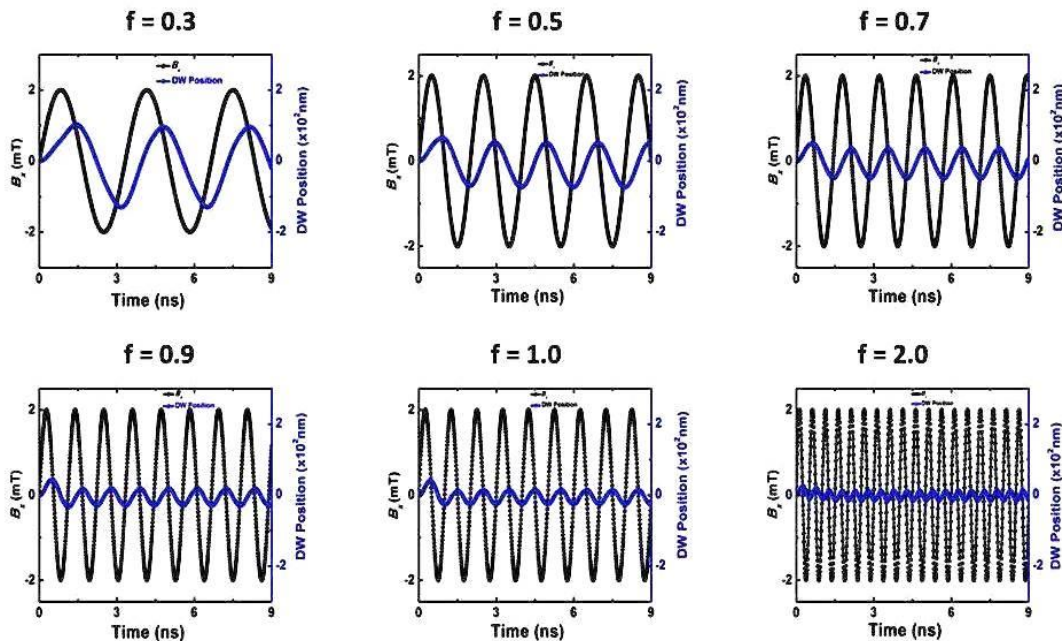
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva posisi DW bahan Fe dengan *notch* segitiga terlihat bahwa frekuensi posisi DW memiliki jumlah yang sama dengan frekuensi medan bolak-balik (Gambar 3). Posisi DW bergerak sepanjang *nanowire* mengalami redaman yang semakin besar ketika frekuensi medan magnet bolak-balik semakin tinggi.

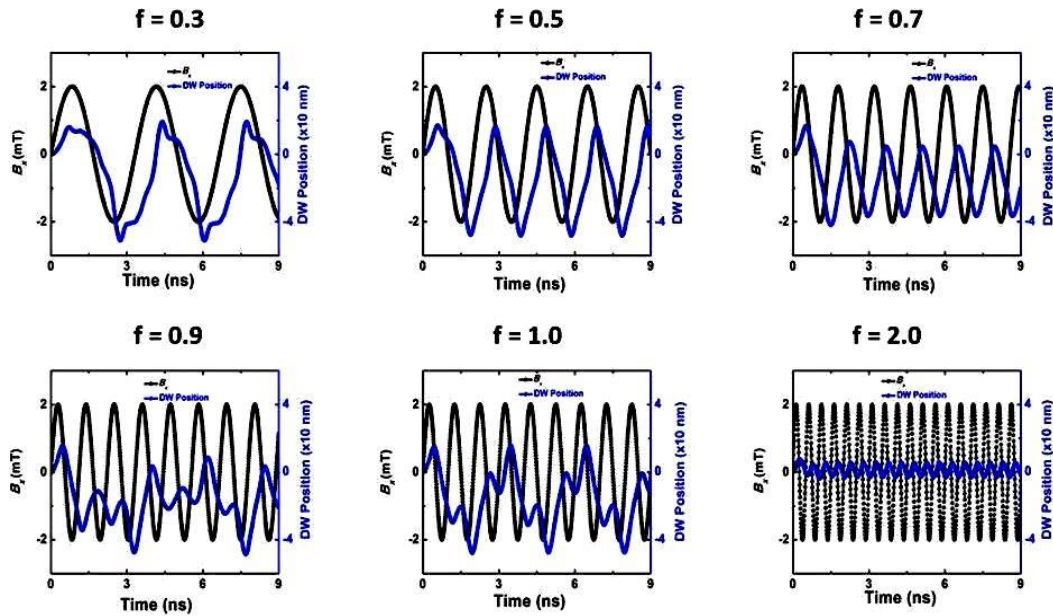


GAMBAR 3. Osilasi posisi DW bahan Fe

Pada bahan Ni juga terlihat bahwa frekuensi dan amplitudo medan luar AC sangat berpengaruh terhadap osilasi DW. Dari Gambar 4 terlihat bahwa frekuensi posisi DW memiliki jumlah yang sama dengan frekuensi medan bolak balik.



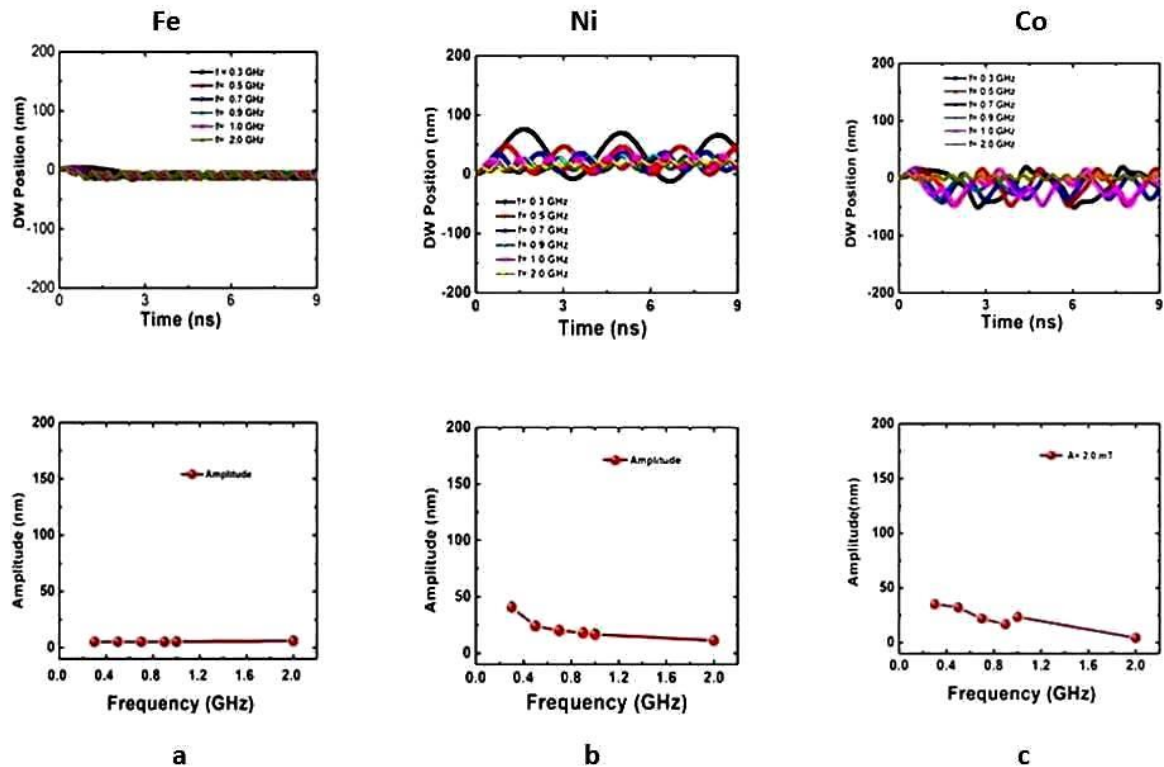
GAMBAR 4. Osilasi posisi DW bahan Ni



GAMBAR 5. Osilasi posisi DW bahan Co

Pada Gambar 5 terlihat bahwa bahan Co juga memiliki jumlah frekuensi posisi DW yang sama dengan frekuensi medan bolak-balik.

Dengan menggabungkan kurva posisi DW akibat adanya medan magnet yang memiliki variasi frekuensi dikenakan pada bahan Fe, Ni dan Co dapat dibuat kurva amplitudo posisi DW Vs frekuensi seperti terlihat pada Gambar 6.



GAMBAR 6. Osilasi posisi DW dan amplitudo bahan (a) Fe, (b) Ni dan (c) Co

Besar amplitudo pada bahan Fe cenderung konstan ketika frekuensi medan bolak-balik meningkat. Namun pada bahan Ni dan Co amplitudonya cenderung menurun ketika frekuensi yang diberikan semakin besar. (lihat Tabel 1).

TABEL 1. Amplitudo posisi DW pada bahan Fe, Ni dan Co dengan variasi frekuensi.

f (GHz)	Amplitudo (cm)		
	Fe	Ni	Co
2,0	9,5	13,2	9,5
1,0	9,3	15,8	25,1
0,9	9,3	20,3	20,1
0,7	9,3	23,1	23,2
0,5	9,3	25,2	34,3
0,3	9,4	40,4	36,6

4. SIMPULAN

Bahan Fe menghasilkan posisi DW yang tidak mengalami pergeseran dan besarnya amplitudo DW cukup stabil. Sedangkan bahan Ni dan Co menghasilkan posisi DW yang mengalami pergeseran dari posisi ekuilibrium ke arah sumbu x-positip dan besar amplitudo DW semakin kecil dengan meningkatnya frekuensi medan luar.

REFERENSI

- [1] Wolf, S. A. et al. Spintronics: A spin-based electronics vision for the future, *Science* 294, (2001), p. 1488.
- [2] Parkin, S. S., Hayashi, M., dan Thomas, L. Magnetic domain wall racetrack memory, *Science* 320, (2008), p. 190.
- [3] R.P. Cowburn and D. Petit, Spintronics: Turbulence ahead, *Nat. Mater.* 4, (2005), p. 721.
- [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, (2002), p. 2003
- [5] D.A. Allwood, G. Xiong, C.C. Faulkner, D. Atkinson, D. Petit, and R.P. Cowburn, Magnetic Domain-Wall Logic *Science* 309, (2005), p. 1688.
- [6] D. Djuhana, H.-G. Piao, S.-H. Lee, D.-H. Kim, S.-M. Ahn, and S.-B. Choe, Oscillatory transformative domain wall inner structure of the depinning domain wall around a notched ferromagnetic wire, *Appl. Phys. Lett.* 97, (2010), p. 022511.
- [7] M. Tsoi, R. E. Fontana, and S. S. Parkin, Dynamics of Domain Wall Motion in Wires with Perpendicular Anisotropy, *Appl. Phys. Lett.* 83, (2003), p. 2617.
- [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, (2003), p. 509.
- [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, (2004), p. 2820.
- [10] S. Lepadatu and J. B. Xu, Direct observation of domain wall scattering in patterned Ni80 Fe20 and Ni nanowires by current-voltage measurements, *Phys. Rev. Lett.* 92, (2004), p. 127201
- [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, (2005), p. 102509.

- [12] K.-J. Kim, C.-Y. You, S.-B. Cho, [Numerical Formula of Depinning Fields from Notches in Ferromagnetic Permalloy Nanowire](#), *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 13(4), (2008), p. 136-139.
- [13] M.J. Donahue and D.G. Porter, OOMMF User's Guide [Online]. Available: <http://math.nist.gov/oommf> (2002).
- [14] T.L. Gilbert, A phenomenological theory of damping in ferromagnetic materials, *IEEE Trans. Magn.* 40(6), (2004), p. 3443–3449.
- [15] D. Djuhana, H. G. Piao, J. H. Shim, S. H. Lee, D. H. Kim, S. M. Ahn, and D. H. Kim, Interaction of antiparallel transverse domain walls in ferromagnetic nanowires. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* Vol. 11, (2011) p.6237–6240.
- [16] 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.
- [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).