library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Simulasi Mikromagnetik dari Proses *Switching* dalam Nano Dot Permalloy Magnetik

F Rohmah, Utari, B Purnama
Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Kentingan Surakarta 57126

ABSTRAK

Simulasi mikromagnetik digunakan untuk mengevaluasi medan eksternal minimum yang dibutuhkan untuk switching berbantukan vortex. Nano dot magnetik yang dikaji berdimensi 100 × 50 × 60 nm diasumsikan sebagai material permalloy berukuran nano. Urutan evaluasi mekanisme reversal dilakukan untuk membangkitkan kondisi awal berupa vortex dengan memberikan medan pulsa sebesar 1000 oersted. Kemudian dievaluasi proses switching berbantukan vortex dengan memberikan pulsa medan tertentu. Hasil visualisasi mekanisme reversal memperlihatkan, bahwa medan eksternal yang dibutuhkan untuk switching dari keadaan awal vortex lebih kecil dari pada keadaan yang bukan vortex atau polarisasi magnetisasinya seragam.

PENDAHULUAN

Material feromagnetik guna mencapai energi minimum akan membentuk konfigurasi domain kecil magnetik. Secara alami "*wall*" akan muncul antara dua domain yang mempunyai arah magnetisasi yang berbeda. Umumnya terdapat dua tipe *domain wall* yaitu Bloch *wall* dan Neel *wall*. Bloch *wall* mengharuskan momen magnetnya mengarah tegak lurus terhadap bidang. Apabila ketebalan bahan lebih kecil dari lebar Bloch *wall*, maka digunakan Neel *wall* yang mana momen magnetnya sejajar dengan bidang. Sebuah fenomena menarik akan terjadi ketika dua Neel *wall* saling berpotongan. *Vortex* magnet akan keluar pada perpotongan dua Neel *wall* tersebut.

Beberapa tahun terakhir fenomena *vortex* tersebut membuat ketertarikan para peneliti[3,5,6,7] untuk mengkaji secara eksperimen maupun teoritik[2]. *Vortex* magnetik adalah sebuah keadaan magnetik fluks tertutup[2,5] yang terdiri dari magnetisasi dengan struktur melingkar berorientasi *in-plane*[5] dan sebuah komponen tegak lurus [3] dengan orientasi *out-plane* [5] . Inti *vortex* teramati dalam berbagai macam bentuk diantaranya elips, persegi panjang, lingkaran dan bentuk-bentuk yang lainnya [3].

Penelitian sebelumnya menunjukkan ketergantungan *vortex* dan anti *vortex* dalam dimensi nano dot magnetik dikaji dengan menggunakan simulasi mikromagnetik. Hasil

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

menegaskan bahwa durasi waktu yang dibutuhkan untuk reversal magnetisasi dengan variasi ketebalan adalah sama tanpa adanya pengaruh dari medan eksternal[4]. Oleh karena itu pada penelitian ini, kami akan mengevaluasi medan eksternal minimum yang dibutuhkan untuk switching berbantukan *vortex*. Mula-mula disimulasikan material permalloy berukuran nano yang memiliki polarisasi magnetik seragam dengan memberikan pulsa medan untuk membangkitkan kondisi awal berupa *vortex*. Kemudian kita akan mengevaluasi proses *switching* berbantukan *vortex* dengan memberikan pulsa medan tertentu yang terungkap dari hasil visual gambar mikromagnetik. Perlu untuk dinyatakan bahwa sistem besaran dan satuan yang digunakan adalah sistem CGS.

METODE

Untuk mempelajari dinamika *vortex* pada nano partikel permalloy, proses magnetisasi reversal disimulasikan dengan menyelesaikan persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) dirumuskan seperti berikut[1]

$$\frac{dM^i}{dt} = -|\gamma| M^i \times H^i_{eff} + \frac{\alpha}{M_s} M^i \times \frac{dM^i}{dt} \qquad (1)$$

dengan γ merupakan rasio *gyromagnetic* ($|\gamma|$= 1,76 × 107 oe^{-1} s^{-1} untuk elektron bebas), H_{eff} adalah medan efektif, α adalah parameter redaman *Gilbert* dan M_s adalah magnetisasi jenuh (*Saturation Magnetization*). Medan efektif atau H_{eff} pada persamaan *Landau-Lifshitz-Gilbert* (LLG) merupakan rapat energi terhadap magnetisasi yang secara umum merupakan total dari komponen penyusunnya yang dituliskan dalam persamaan seperti berikut

$$H_{eff} = \frac{2A}{M_s}\nabla^2 m + H_d + H_a + H_k \qquad (2)$$

dengan A adalah konstanta material ($A=JS^2/a$, a= konstanta kisi), H_d merupakan energi demagnetisasi, H_k besar energi anistropi, dan H_a adalah energi eksternal.

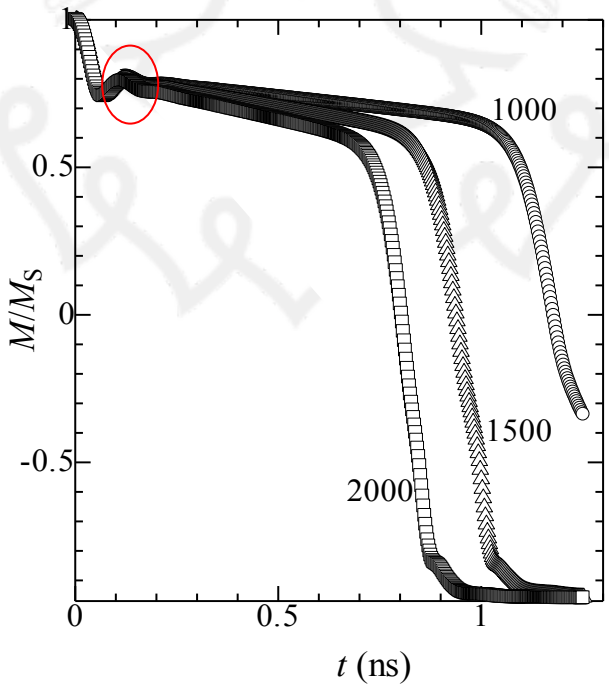
Pada simulasi yang dilakukan, material yang digunakan adalah nano partikel permalloy dengan dimensi 100 nm × 50 nm × 60 nm. Anisotropi bahan ini dianggap *in-plane* dengan konstanta anistropi yang digunakan sebesar 5000 erg/cm^3 dan nilai magnetisasi jenuh

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

sebesar $4\pi M_s$ = 1,0 × 104 gauss [2]. Besarnya konstanta redaman Gilbert yang diberikan sebesar 0.3 dan medan eksternal yang akan divariasi menghasilkan beberapa visual gambar mikromagnetik dan hubungan magnetisasinya terhadap pengaruh pulsa waktu dengan *step-time* integrasi (dt) = $2{,}5\times10^{-13}$ s. Untuk hasil yang diperoleh, selain kurva hubungan magnetisasi reversal terhadap fungsi waktu adapula gambar mikromagnetik. Dalam mikrograf yang memperlihatkan proses reversal tersebut, arah magnetisasi setiap elemen dari *finite element* nanopartikel ditunjukkan oleh warna. Secara umum, warna biru menunjukkan arah magnetisasi ke arah sumbu ***x***, warna ungu ke arah sumbu ***y***, warna hijau muda ke arah sumbu ***–y***, dan warna jingga ke arah sumbu ***–x***.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan simulasi mikromagnetik pada material yang diasumsikan berupa nano partikel permalloy. Tahap pertama, material diasumsikan memiliki polarisasi magnetik seragam. Lalu, usaha pertama untuk memunculkan kondisi awal *vortex* diberikan pulsa medan magnet eksternal. Medan magnet eksternal yang digunakan adalah sebesar 1000, 1500 dan 2000 oersted. Sehingga didapatkan hasil berupa kurva hubungan magnetisasi reversal terhadap fungsi waktu dengan variasi besarnya medan eksternal yang ditunjukkan pada Gambar 1.

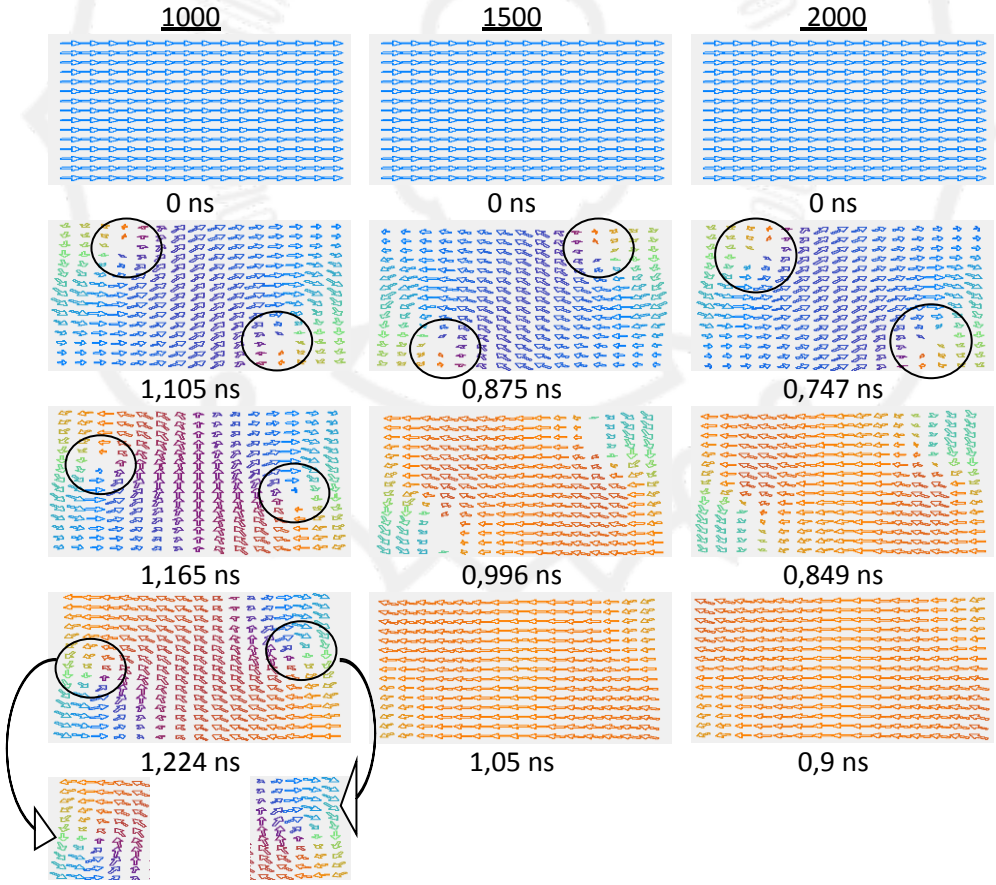


Gambar 1. Kurva Magnetisasi Reversal (*M/Ms*) terhadap Fungsi Waktu (*t*) dengan Variasi Besarnya Medan (*Oe*).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Teramati dari kurva diatas, proses reversal magnetisasi untuk medan eksternal yang diberikan sebesar 1500 dan 2000 oersted *switching* ke arah sebaliknya. Sedangkan ketika medan eksternal yang diberikan sebesar 1000 oersted, magnetisasinya tidak sampai *switch* ke arah sebaliknya. Sebab, energi yang diberikan tidak cukup untuk *switching* ke arah sebaliknya. Lingkaran merah pada Gambar 1, penulis mengindikasikan munculnya fenomena *vortex* pada proses reversal magnetisasi material permalloy tersebut. Untuk menegaskan kejadian tersebut, maka diamati mikrograf dari hasil simulasi pada Gambar 2.

Ditinjau dari mode reversalnya, untuk medan eksternal sebesar 1500 dan 2500 oersted memang terjadi *vortex* dan kemudian *switch* ke arah sebaliknya yang ditunjukkan dengan panah berwarna jingga. Sedangkan untuk medan eksternal sebesar 100 oersted, *vortex* terus terjadi hingga kondisi akhir simulasi. Sehingga keadaan ketika medan eksternal sebesar 1000 oe, akan digunakan sebagai *initial condition* pada simulasi tahap dua.

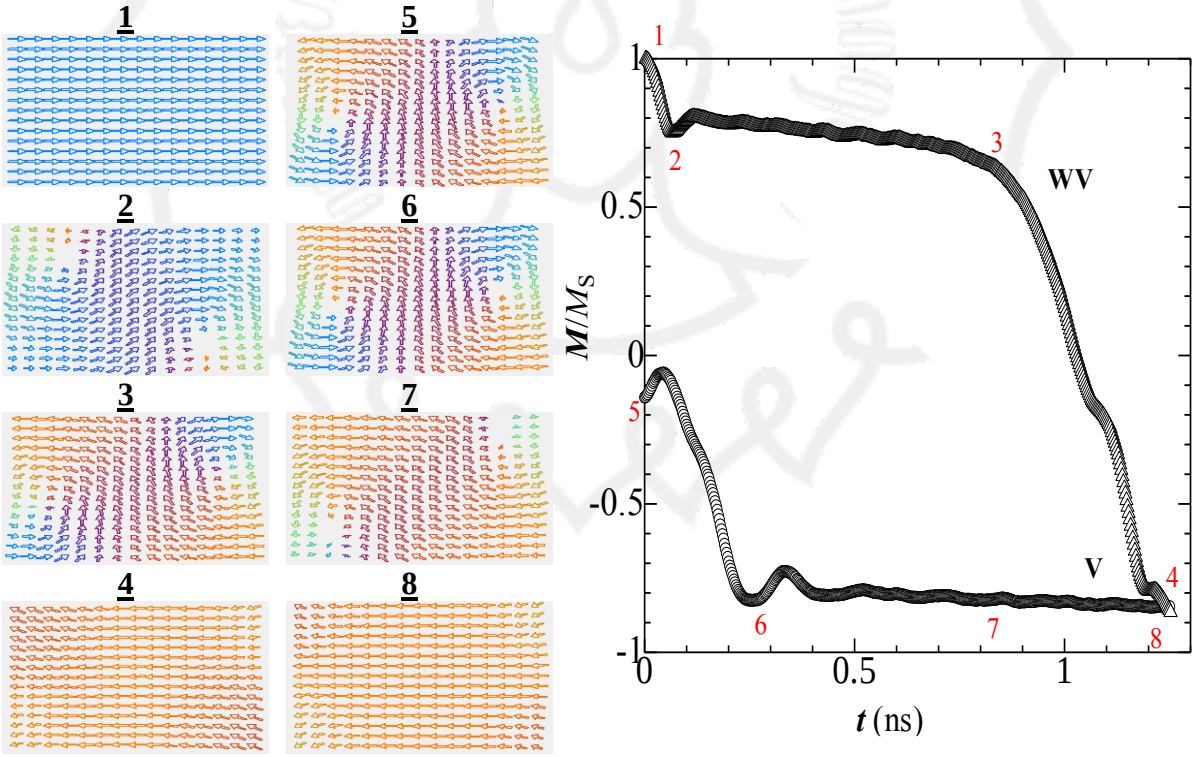


Gambar 2. Tahapan magnetisasi reversal teramati dalam *nukleasi-annihilasi domain* magnetik pada gambar mikromagnetik untuk variasi medan eksternal (H).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Pada tahap kedua, nano partikel permalloy diasumsikan memiliki inisial keadaan berupa *vortex*. Kemudian diberikan pulsa medan untuk menentukan nilai minimum medan magnet eksternal yang dibutuhkan untuk mengubah polarisasi menjadi searah (*switching*). Maka diperoleh berupa kurva hubungan magnetisasi reversal terhadap fungsi waktu dengan variasi besarnya medan eksternal yang ditunjukkan pada gambar 3. Tetapi pada gambar 3, terdapat 2 kurva hubungan yaitu ketika kondisi awal *vortex* dan kondisi awal pola magnetisasinya seragam (tanpa *vortex*).

Teramati dari kurva pada gambar 3, proses reversal magnetisasi pada kedua keadaan *switching* ke arah sebaliknya. Pada keadaan awal *vortex*, proses reversal dimulai dengan nilai magnetisasi negatif dan berkebalikan dengan keadaan awal seragam (tidak *vortex*). Namun, rentang waktu yang dibutuhkan untuk *switching* pada kedua keadaan tersebut sangatlah berbeda. Keadaan awal (*initial condition*) berbantukan *vortex* memiliki durasi waktu yang lebih singkat untuk *switcing*. Bersamaan dengan itu, minimum medan eksternal yang dibutuhkan untuk *switching* lebih kecil dibandingkan dengan keadaan awal magnetisasi seragam.



Gambar 3. Kurva hubungan magnetisasi reversal sebagai fungsi waktu beserta hasil mikrografnya. Kurva dengan kondisi awal *vortex* (V). Kurva dengan keadaan awal seragam(WV).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

KESIMPULAN

Studi simulasi mikromagnetik telah dilakukan untuk mengevaluasi medan eksternal minimum yang dibutuhkan untuk switching berbantukan *vortex* pada nano partikel permalloy 50 nm × 100 nm × 60 nm. Medan eksternal minimum yang dibutuhkan untuk membangkitkan *initial condition* berupa *vortex* sebesar 1000 oe. Untuk proses dari nukleasi hingga annihilasi konfigurasi *vortex*, semakin besar medan eksternal semakin pendek durasinya. Selain itu, dilakukan pengkajian fenomena annihilasi *vortex* hingga *switch* dengan mengevaluasi medan eksternal minimum yang dibutuhkan. Medan eksternal minimum yang dibutuhkan untuk *switching* dari keadaan awal *vortex* lebih kecil dari pada keadaan yang bukan *vortex*.

DAFTAR PUSTAKA

1. B. Purnama. 2009. *Thermally Assisted Magnetization Reversal in Perpendicularly Magnetized Thin Films*. Thesis. Electronics Department, Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.
2. Hertel, R. 2002. Thickness Dependence of Magnetization Structures in Thin Permalloy Rectangles. *Zeitschrift fur Metalkunde* 93, 957-962.
3. Lee, K. S., Kang, B. W., Yu, Y. S., and Kim, S. K. 2004. Vortex-antivortex Pair Driven Magnetization Dynamics Studied by Micromagnetic Simulations. *Applied Physic Letters*. Vol-85 Number 9, DOI 10.1063/1.1784892.
4. Muhammady, S., Suharyana dan Purnama, B. 2012. Vortex-Antivortex Assisted Magnetization Dynamics in Permalloy Nano Particle Studied by Micromagnetic Simulation. *Jogja International Conference on Physics*.
5. Ruotolo, A., Cros, V., Geoges, B., Dussaux, A., Grollier, J., Deranlot, C., Guillemet, R., Bouzehouane, K., Fusil, S., and Fert, A. 2009. Phase-locking of Magnetic Vortices Mediated by Anivortices. *Nature Nanotechnology*. Vol-4, DOI 10.1038/NNANO.2009.143.
6. Wang, H., and Campbell, C. E. 2007. Spin Dynamics of a Magnetic Antivortex : Micromagnetic Simulations. *Physical Review B 76*. DOI 10.1103/PhysRevB.76.220407.
7. Yoo, M. Y., Lee, J., and Kim, S. K. 2012. Radial-spin-wave-mode-assisted Vortex Core Magnetization Reversals. *Applied Physic Letters*. 100, 172413 (2012).