

Kajian Sifat Kemagnetan Pada *Free Layer* NiFe dan CoFeB Berdasarkan Simulasi Mikromagnetik

Anisa Indriawati^{1,*}, Galih Setyawan², Edi Suharyadi³.

¹) Departemen Fisika Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung

²) Departemen Teknik Elektro dan Informatika Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

³) Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada

Email korespondensi : anisaind.ind@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.20527/flux.v18i2.10459>

Submitted: 16 April 2021, Accepted: 12 Agustus 2021

ABSTRAK- Telah dilakukan simulasi mikromagnetik *free layer* NiFe dan CoFeB, dengan ukuran *free layer* 500 nm×200 nm×5 nm. *Free layer* NiFe dan CoFeB dapat diaplikasikan pada *Magnetic Tunnel Junction*. Pemberian medan magnet luar sebesar 0 mT sampai dengan 20 mT mengakibatkan terjadinya pergeseran *domain wall* magnetik. Berdasarkan hasil simulasi mikromagnetik, pada kurva hubungan antara medan magnet luar dan nilai magnetisasi, terlihat perbedaan trend yang signifikan pada pemberian medan magnet luar di atas 11 mT. Pada medan magnet 20 mT, momen magnetik CoFeB belum terlalu menunjukkan terjadinya saturasi, sedangkan pada NiFe mulai menunjukkan *trend* menuju saturasi. Besarnya energi anisotropi bernilai maksimum pada saat *free layer* NiFe dan CoFeB diberikan medan magnet luar sekitar 0,7 mT, dan bernilai minimum saat medan magnet luar sebesar 20 mT.

KATA KUNCI: NiFe, CoFeB, Spintronik, Magnetisasi, Energi Anisotropi

ABSTRACT- The *free layer* NiFe and CoFeB micromagnetic simulations have been carried out, with a *free layer* size of 500 nm × 200 nm × 5 nm. *Free layer* of NiFe and CoFeB can be applied to *Magnetic Tunnel Junction*. Giving an external magnetic field of 0 mT to 20 mT results in a shift in the magnetic domain wall. Based on the results of the micromagnetic simulation, on the curve of the relationship between the external magnetic field and the magnetization value, there is a significant difference in trends in the provision of the external magnetic field above 11 mT. At 20 mT external magnetic field, the CoFeB magnetic moment has not shown much saturation, while NiFe shows a trend towards saturation. The amount of anisotropy energy has a maximum value when the *free layer* NiFe and CoFeB are given an external magnetic field of about 0.7 mT, and a minimum value when the external magnetic field is 20 mT.

KEYWORDS : NiFe, CoFeB, Spintronic, Magnetization, Anisotropy Energy

PENDAHULUAN

Spintronik atau *spin-based electronics* merupakan kajian elektronik yang melingkupi elektron dan spin. Sebagai salah satu penerapan ilmu spintronik, efek *Tunneling Magnetoresistance* (TMR) memegang kontribusi yang besar (Shinjo, 2009). TMR (Shinjo, 2009) merupakan efek yang muncul akibat adanya arus *tunneling* pada isolator (Setyawan & Suharyadi, 2013). Salah satu devais yang memanfaatkan efek TMR adalah *Magnetic Tunnel Junction* (MTJ) pada HDD *Read-Head* (Gang & Park, 2006). *Spin-valve*

pada MTJ tersusun dua lapisan tipis yang bersifat feromagnetik dan dipisahkan oleh sebuah lapisan isolator non magnetik. Salah satu lapisan feromagnetik berperan sebagai *free layer*.

Tunneling arus pada MTJ dapat dikontrol dengan mengontrol momen magnetik pada *free layer*. Material yang digunakan sebagai *free layer* harus bersifat *soft magnetic*. Beberapa material yang potensial untuk diaplikasikan sebagai *free layer* diantaranya NiFe dan CoFeB. NiFe atau sering disebut dengan *permalloy* memiliki permeabilitas yang sangat tinggi,

koersivitas yang rendah, anisotropi dengan arah *in-plane*, nilai *magnetostriction* mendekati nol, dan *magneto-resistance* anisotropi yang signifikan (Nahworld, Stholtyssek, Molt-Zielger & Albert, 2010; Suryana, & Purnama, 2012). CoFeB memiliki sifat yang cukup unik yaitu memiliki anisotropi kristalin yang rendah, memiliki polarisasi spin yang tinggi (lebih dari 65%), saturasi yang sedang (Mustaghfiroh, Djuhana, & Kurniawan, 2020).

Pemberian medan magnetik pada *free layer* mengakibatkan adanya perubahan arah momen magnetik dan pergeseran *domain wall* magnetik. Fenomena pergeseran *domain wall* magnetik dapat disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *Object Oriented Micromagnetic Framework* (OOMMF). Beberapa penelitian tentang simulasi mikromagnetik telah dilakukan misalnya simulasi *free layer* CoFeB untuk sistem *spin-valve* (Setwawan & Suharyadi, 2013), simulasi mikromagnetik untuk material Permalloy, Co, Ni, dan Fe (Djuhana, Kurniawan, & Widodo, 2017), serta simulasi mikromagnetik pada material CoFe dan CoFeB (Mustaghfiroh, Djuhana, & Kurniawan, 2020). Pada penelitian ini akan disimulasikan *free layer* dengan material NiFe dan CoFeB. Pemberian medan magnet luar dilakukan dengan arah +x sebesar 20 mT. Analisa yang akan dilakukan adalah perubahan struktur *domain wall*, besarnya nilai magnetisasi saturasi serta energi anisotropi ketika *free layer* NiFe dan CoFeB diberi medan magnet luar yang cukup kecil (di bawah medan saturasi NiFe dan CoFeB).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak OOMMF dan perangkat keras Komputer intel 4 GB. Fenomena pergerakan momen magnetik digambarkan dalam persamaan Landau Lifshitz Gilbert (LLG). Adapun persamaan Landau Lifshitz Gilbert yang diselesaikan dalam perangkat lunak OOMMF dinyatakan (Donahue, 2002):

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

Sedangkan energi anisotropi dinyatakan:

$$E_a = K_0 + K_1 \sin^2\theta \quad (2)$$

Material yang disimulasikan sebagai *free layer* adalah NiFe dan CoFeB berbentuk bujur sangkar pada ukuran (500×200×5) nm³, ukuran cell size (2×2×5) nm³. Adapun besarnya nilai Magnetisasi saturasi (M_s), konstanta anisotropi (K), konstanta exchange (A), pada NiFe masing-masing $M_s = 8 \times 10^5$ A/m, $A = 13 \times 10^{-12}$ J/m, (Ismail, 2013; Purnama, Ismail, & Suharyana, 2013), $K=0,5 \times 10^3$ J/m, sedangkan pada CoFeB masing-masing:

$$M_s = 1,16 \times 10^6 \text{ A/m,}$$

$$A = 1,37 \times 10^{-11} \text{ J/m,}$$

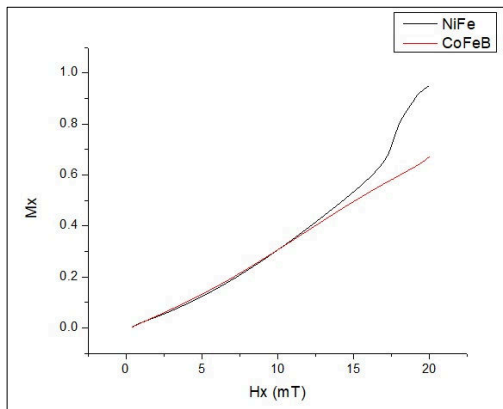
$$K = 1273 \text{ J/m}^3$$

(Setyawan & Suharyadi, 2013). Besarnya medan magnet yang diberikan pada *free layer* adalah 0 sampai dengan 20 mT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 adalah kurva hubungan antara medan magnet luar dan nilai magnetisasi. Berdasarkan kurva tersebut terlihat bahwa pada medan magnet luar 0 mT sampai dengan 11 mT *trend* yang dihasilkan antara *free layer* NiFe dan CoFeB hampir sama. Nilai magnetisasi pada medan magnet luar 11 mT adalah sebesar 0,340. Nilai magnetisasi didefinisikan sebagai $M_x = M/M_s$. Di atas 11 mT terdapat perbedaan yang signifikan. Nilai magnetisasi saturasi (M_s) *free layer* CoFeB lebih besar dari NiFe. Hal ini mengakibatkan kenaikan nilai magnetisasi pada NiFe lebih menonjol dibandingkan dengan CoFeB. NiFe (dengan komposisi Ni sekitar 50%) memiliki medan saturasi 1,6 T. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, NiFe dengan ukuran lapisan tipis 150 nm × 100 nm dengan ketebalan 1 nm mulai tersaturasi pada medan magnet 200 mT (nilai magnetisasi sebesar 0,95 (Indriawati, 2017). CoFeV (V-permendur) pada komposisi Co dan Fe 49% memiliki

medan saturasi 2,4 T (Coey, 2009). Dengan kata lain, momen magnetik *free layer* NiFe lebih responsif untuk menyearahkan diri terhadap arah medan magnet luar dibandingkan dengan CoFeB. *Free layer* CoFeB pada ukuran lapisan tipis 120 nm × 100 nm tersaturasi dengan medan magnet 299 Oe (Setyawan & Suharyadi, 2013). Pada pemberian medan magnet luar 20 mT, *free layer* NiFe menunjukkan adanya *trend* menuju saturasi, dimana hal ini tidak terjadi pada CoFeB.

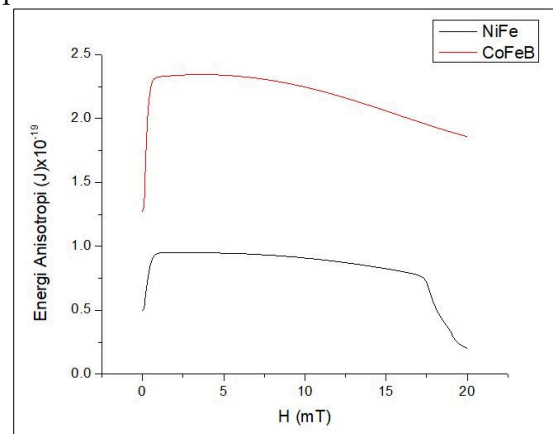


Gambar 1 Kurva hubungan antara besarnya pemberian medan magnet luar terhadap nilai magnetisasi

Kurva hubungan antara medan magnet luar dan besarnya energi anisotropi ditunjukkan pada Gambar 2. Energi anisotropi pada CoFeB lebih besar dari NiFe dikarenakan besarnya konstanta anisotropi pada CoFeB lebih besar dari NiFe. Berdasarkan nilai konstanta anisotropi, dapat diartikan bahwa momen magnetik pada NiFe lebih *in-plane* dibandingkan CoFeB. Hal ini mengakibatkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menuju saturasi pada CoFeB akan lebih besar. Pada NiFe energi anisotropi bernilai maksimum $9,36 \times 10^{-20}$ J pada medan magnet 0,72 mT, dan mengalami penurunan yang signifikan menjadi $7,5 \times 10^{-20}$ J sampai $2,02 \times 10^{-20}$ J pada medan magnet 17 mT sampai dengan 20 mT. Pada medan magnet luar 0,72 mT material CoFeB mengalami energi anisotropi maksimum, yaitu sebesar $2,32 \times 10^{-19}$ J. Pada CoFeB, penurunan energi anisotropi terjadi secara perlahan dari 0,72 mT sampai 20 mT. Energi anisotropi minimum pada medan magnet 20

mT adalah $1,85 \times 10^{-19}$ J.

Kondisi awal momen magnetik pada *free layer* CoFeB dan NiFe ditunjukkan pada Gambar 3a. Pemberian medan magnet luar sebesar 0 sampai dengan 20 mT mempengaruhi struktur momen magnetik dan mengakibatkan pergeseran *domain wall* magnetik. Berdasarkan kurva magnetisasi kurva pada gambar 1, menunjukkan bahwa sampai dengan medan magnet 11 mT masih menunjukkan trend yang sama, dengan kondisi *free layer* akibat medan magnet pada NiFe dan CoFeB ditunjukkan masing-masing pada Gambar 3b dan 3c.



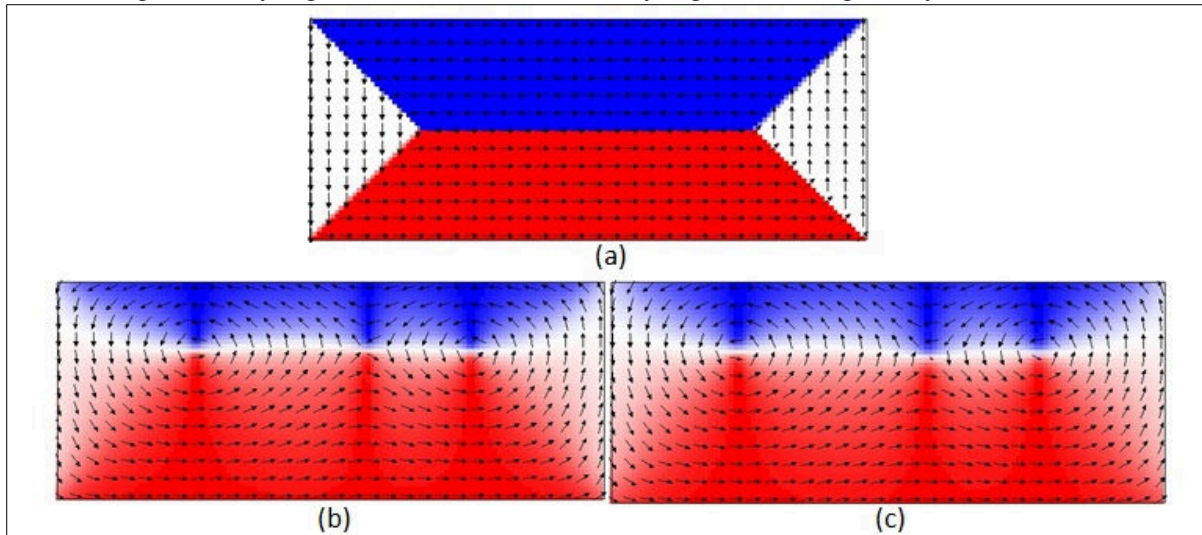
Gambar 2 Kurva hubungan antara medan magnet luar dan Energi Anisotropi

Berdasarkan Gambar 3, pada *free layer* CoFeB dan NiFe menunjukkan perubahan susunan momen magnetik akibat adanya medan magnet luar. Pemberian medan magnet luar sebesar 0 hingga 11 mT menunjukkan pola yang sama antara NiFe dan CoFeB. Ditinjau dari besarnya energi anisotropinya, kedua *free layer* memiliki energi anisotropi maksimal pada medan 0,7 mT. Berdasarkan persamaan 2, untuk nilai konstanta anisotropi lebih besar dari nol, maka energi anisotropi harus bernilai minimum pada saat sudut antara momen magnetik terhadap *easy direction* (θ) bernilai 0 atau 180° (Coey, 2009; Chikazumi, 1997). Dalam penelitian ini, arah medan magnet luar yang diberikan searah dengan *easy direction*. Dari hasil penelitian terlihat *trend* peningkatan energi anisotropi terjadi saat medan magnet luar 0 sampai dengan 0,7 mT. Di atas 0,7 mT *trend* yang terjadi adalah

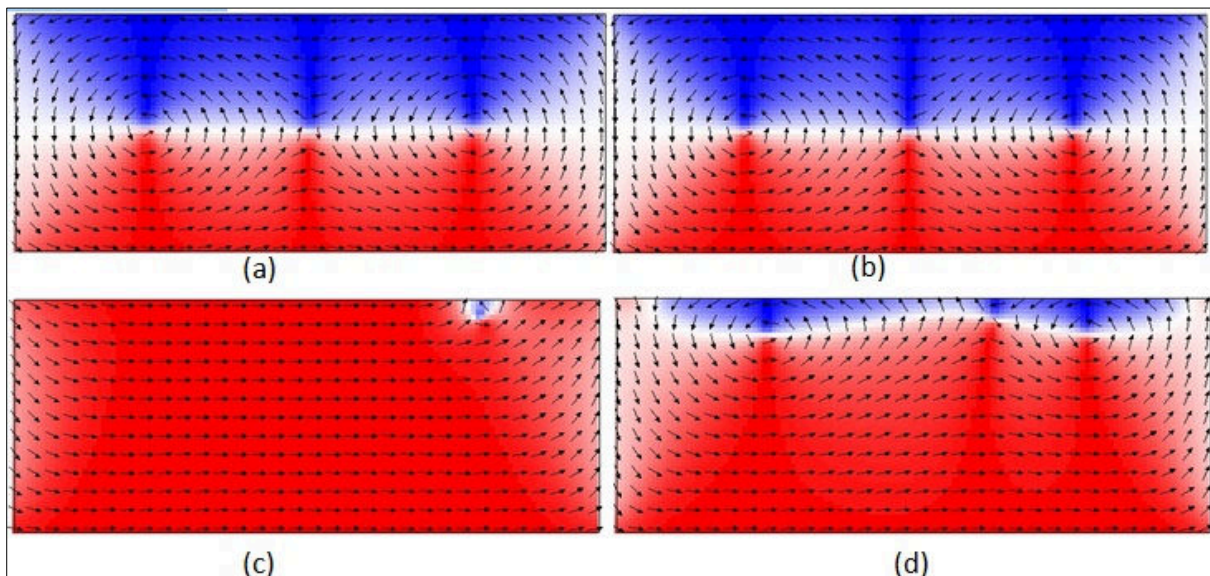
penurunan energi anisotropi.

Energi anisotropi akan bernilai maksimum saat sudut antara momen magnet terhadap *easy direction* 90° (Coey, 2009; Chikazumi, 1997). Hasil penelitian menunjukkan penurunan energy anisotropi setelah medan magnet luar yang diberikan lebih besar dari 0,7 mT. Hal ini mengindikasikan bahwa pada pemberian medan magnet luar yang lebih besar dari 0,7

mT sebagian besar momen magnetik pada *free layer* NiFe dan CoFeB menuju searah terhadap medan magnet luar dan *easy direction*. Gambar 4 menunjukkan susunan momen magnetik pada CoFeB dan NiFe saat energi anisotropi bernilai maksimum dan menurun pada medan magnet 20 mT. Adapun energi anisotropi pada NiFe bernilai lebih kecil dari CoFeB, yang mengindikasikan bahwa momen magnetik yang searah dengan *easy direction* lebih besar.



Gambar 3 (a) kondisi awal CoFeB dan NiFe, (b) *free layer* CoFeB dan (c) NiFe akibat pengaruh medan magnet luar sebesar 11 mT



Gambar 4 Momen magnetik pada *free layer* (a) CoFeB ketika energi anisotropi bernilai maksimum dan (b) NiFe ketika energi anisotropi bernilai maksimum (c) NiFe ketika energi anisotropi medan magnet 20 mT (d) CoFeB ketika medan magnet 20 mT

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa susunan momen magnetik pada nife dan cofeb memiliki perbedaan yang signifikan pada pemberian medan magnet luar di atas 11 mt. pada medan magnet luar 20 mt, nife menunjukkan trend menuju saturasi, sedangkan pada cofeb belum menunjukkan trend menuju saturasi. energi anisotropi pada nife lebih kecil dari cofeb, dimana keduanya memiliki trend yang sama, yaitu bernilai maksimum pada saat pemberian medan magnet luar sebesar 0,7 mt dan minimum saat pemberian medan magnet luar sebesar 20 mt.

DAFTAR PUSTAKA

- Chikazumi, S. (1997), *Physics of Ferromagnetism*. Newyork: Oxford University Press.
- Coey, JMD. (2009). *Magnetism and Magnetic Materials*. New York: Cambridge University Press.
- Djuhana, D., Kurniawan, C., Widodo, AT. (2017). Dynamic susceptibility spectra analysis of ferromagnetic spheres via micromagnetic simulations. Paper presented at the 2nd International Conference on Current Progress in Functional Materials. Conf. Series: Materials Science and Engineering, 496 012027 (IOP Publishing). University of Indonesia, Indonesia
- Donahue, M.J, D.G. 9. Porter, *OOMMF User's Guide*, 2002. Website: <http://math.nist.gov/oommf>, diakses tanggal 10 Januari 2012.
- Gang, J and Park, C. Magnetic Tunnel Junction. (2006), *Materials Today*, 9 (11), 36-45. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(06\)71693-5](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(06)71693-5).
- Indriawati, A. (2017). Analisis Pergeseran Domain Wall Magnetik pada Permalloy dengan Ukuran Nano, *Jurnal Flux*, 14 (02), 90-95.
- Ismail. (2013). *Studi Micromagnetic Proses Magnetisasi dan Spektrum Suseptibilitas Feromagnetik Elemen Diamond-Shaped*. Thesis. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mustaghfiroh. Q., Djuhana. D., Kurniawan. C. (2020). Hysteresis observation of CoFe and CoFeB model disk using micromagnetic simulation. Paper presented at the 3rd International Symposium on Current Progress in Functional Materials, University of Indonesia.
- Nahworld. G., Stholtyssek.J.M., Motl-Zielger. S., Albrect. O. Structural, magnetic, and transport properties of permalloy for spintronics experiments. *Journal of Applied Physics*, 108. <https://doi.org/10.1063/1.3431384>.
- Purnama, B., Ismail., dan Suharyana. (2013). Kajian Simulasi Mikromagnetik: Ketergantungan Medan Koersif dan Besaran Intrinsik Nano-Dot Magnetik dengan Anisotropi Tegak Lurus. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 9 (1), 30-33. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v9i1.835>.
- Setyawan, G dan Suharyadi, E. (2013). Analisa Pergeseran Magnetic Domain Wall pada Lapisan Tipis Free Layer CoFeB untuk Sistem Spin-Valve Tunneling Magneto-Resistance Sensor. *Jurnal Fisika Indonesia*, 49, 18-21, <https://doi.org/10.22146/jfi.24407>
- Shibghatullah M., Suryana., Purnama.B. (2012). Kajian Simulasi Mikromagnetik Ketergantungan Tipe Nukleasi Magnetisasi Reversal Terhadap Waktu pada Nano-Dot Permalloy. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 2 (2),164-169.
- Shinjo, T. (2009). *Nanomagnetism and Spintronics*. Oxford: Elsevier.