

Analisis sifat magnetik berdasarkan ukuran kritis bahan NiFe berbentuk *nanocube* menggunakan simulasi mikromagnetik

L Rohman¹, E Purwandari¹, dan D Arumdari^{1, a}

¹Universitas Jember

^adyantimaulfi@yahoo.com

Abstrak. Bahan NiFe adalah bahan campuran logam atau bahan *permalloy* yang tersusun atas 80% nikel dan 20% besi. Bahan ini mempunyai struktur *Face Centered Cubic* (FCC) yang dapat digunakan sebagai media perekam magnetik. Nilai ukuran kritis yang dihasilkan sebesar 34 nm, nilai tersebut dilihat dari titik akhir dari daerah *single* domain yang akan menuju ke daerah transisi pada grafik hubungan. Grafik hubungan rapat energi dengan volume didapatkan dengan data grafik rapat energi dengan ukuran sisi kubus, didalam grafik volume membandingkan volume kubus dengan bola yang menghasilkan volume sebesar 40.283 nm^3 untuk volume kubus sedangkan volume bola bernilai 40.288 nm^3 . Dalam bahan NiFe perbandingan volume kubus dengan bola bentuk geometri tidak mempengaruhi volume yang dihasilkan. Penelitian ini mengkaji sifat magnetik bahan NiFe dalam bentuk *nanocube* menggunakan kurva histerisis. Kurva histerisis pada daerah *single* domain variasi 23 nm medan koersivitas bernilai $3,2604 \times 10^7 \text{ T}$, pada daerah transisi 31 nm medan koersivitas yang dihasilkan sebesar $3,2604 \times 10^7 \text{ T}$ sedangkan pada *multi* domain medan koersivitas yang dihasilkan bernilai $8,5272 \times 10^6 \text{ T}$. Dapat disimpulkan, semakin besar ukuran sisi kubus maka nilai medan koersivitas dan medan saturasi akan semakin besar. Hal ini dikarenakan semakin besar volume kubus maka energi yang dibutuhkan semakin besar.

1. Pendahuluan

Kemampuan teknologi menjadi faktor utama yang dilihat sebagai acuan daya tarik terhadap minat masyarakat yang semakin pintar dalam menentukan standar kualitas setiap teknologi. Salah satu teknologi yang tidak dapat dipisahkan dari manusia adalah komputer yang bisa digunakan untuk membantu memudahkan pekerjaan. Masyarakat pada umumnya akan memilih komputer dengan harga terjangkau dan spesifikasi yang tinggi. Pemanfaatan teknologi yang sering dijumpai dalam komputer yaitu *hard disk drive* (HDD) yang merupakan media penyimpanan data jangka panjang dan media perekam magnetik yang tidak dapat dipisahkan dari bagian komputer. Upaya peningkatan kapasitas *hard disc drive* (HDD) dilakukan dengan cara meningkatkan kerapatan bit (*bit-areal-density*) [1].

Salah satu bahan magnetik yang digunakan untuk melapisi *hard disk drive* adalah bahan feromagnetik. Feromagnetik merupakan bahan magnetik yang mempunyai kemampuan suseptibilitas magnetik besar serta mempunyai nilai positif, karena struktur yang dimiliki bahan feromagnetik berbeda dengan bahan magnetik lainnya [2]. Karakteristik bahan feromagnetik ditentukan dengan loop kurva histerisis, dimana terdapat dua macam karakteristik berdasarkan kurva histerisis *soft magnet* dan *hard magnet* [3]. Simulasi mikromagnetik diameter kritis dengan bentuk *nanocube* menggunakan lapisan tipis bahan NiFe. Bahan *permalloy* NiFe memiliki kemampuan bahan untuk menerima satu keadaan magnetisasi, karena mempunyai perubahan arus [4]. Tahun 1996 Kittel [5] memaparkan

mengenai diameter kritis *single domain* dengan cara membandingkan energi yang diperlukan untuk membuat dinding domain terhadap pengurangan energi magnetostatik atau energi demagnetostatik selama penciptaan atau pembuatan struktur domain, maka diberikan persamaan:

$$DC_1 = \left(\frac{9\gamma_w}{2\pi M_s^2} \right) \quad (1)$$

Kemudian Brown [6] menghitung secara rinci batas ukuran diameter kritis untuk struktur *single-domain* dengan meninjau energi minimumnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$DC_2 = 7,221 \sqrt{\frac{2A}{\mu M_s^2}} = 7,221 l_{ex} \quad (2)$$

length dan μ adalah permeabilitas bahan. Skomsi [7] memprediksikan diameter kritis untuk struktur *single-domain* pada temperatur ruang dengan persamaan:

$$DC_3 = \frac{72\sqrt{AK}}{\mu_0 M_s^2} \quad (3)$$

Sedangkan untuk energi sistem, Brown secara terperinci telah memprediksi energi transisi yang terjadi dari keadaan struktur *single-domain*.

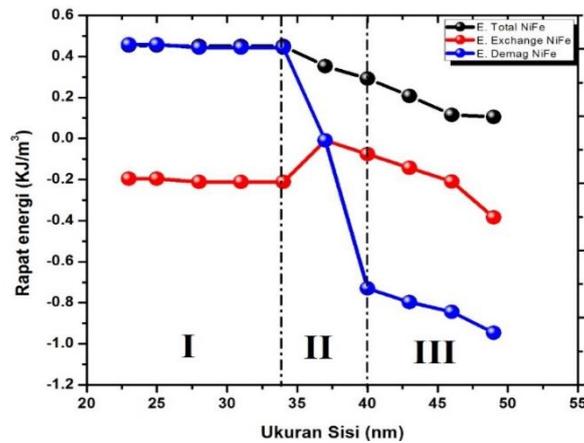
2. Metode

Simulasi mikromagnetik ini dilakukan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian simulasi mikromagnetik ini diawali dengan studi pustaka dari beberapa sumber berupa buku, jurnal ilmiah, skripsi, dan tesis. Hal ini dilakukan untuk observasi terhadap topik penelitian. Kemudian dilakukan penginstallan *software* pada komputer. *Software* yang digunakan dalam penelitian simulasi mikromagnetik ini adalah program NMAG, *software* MayaVi, Origin dan Netgen. Setelah *software* terinstall dan siap digunakan maka dilakukan kegiatan simulasi, simulasi dilakukan dengan membuat file bahan yang berisi parameter *input* bahan *permalloy* NiFe (.py) yaitu M_s (magnetisasi saturasi), K (konstanta anisotropi), A (konstanta *exchange*), dan konstanta *damping*.

Analisis yang dilakukan yakni menganalisis ukuran kritis yang terjadi pada bentuk kubus. Analisa penentuan ukuran kritis bahan ini didapatkan melalui grafik hubungan antara rapat energi dengan sisi dan volume. Setelah mendapatkan grafik tersebut selanjutnya menganalisa tiga daerah yaitu *single domain*, *multi domain* dan transisi [8]. Analisis selanjutnya untuk mengetahui sifat magnetik bahan NiFe dengan menggunakan kurva histerisis, simulasi dilakukan dengan menggunakan program *Origin*. Sifat magnetik yang dianalisis meliputi medan koersivitas, yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah magnet yang disimulasikan bersifat *hard* magnet atau *soft* magnet. Kurva histerisis nantinya akan dideskripsikan untuk tiga macam daerah domain, meliputi daerah *single* domain, daerah transisi, dan daerah *multi* domain [9].

3. Hasil dan Pembahasan

Ukuran kritis merupakan sebuah indikator yang digunakan untuk menentukan terjadinya perubahan dari sebuah bahan dengan struktur *single* domain ke bahan yang telah memiliki struktur *multi* domain. Dalam hal ini, penentuan ukuran kritis diambil berdasarkan titik terakhir dalam daerah *single* domain yang menuju daerah transisi. Daerah *single* domain diindikasikan dengan daerah dimana rapat energi demagnetisasi lebih mendominasi dibandingkan dengan rapat energi *exchange*.

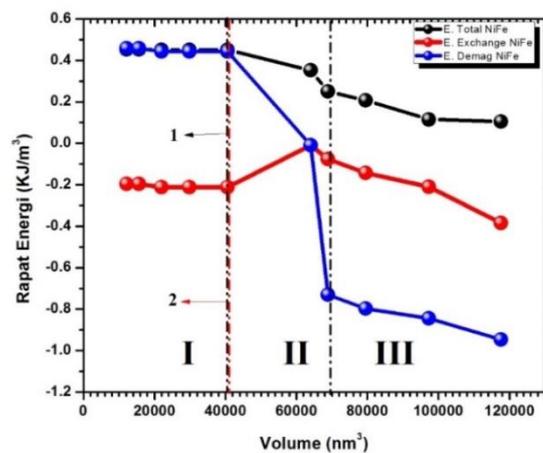


Gambar 1. Grafik hubungan rapat energi dengan ukuran sisi.

Berdasarkan Gambar 1, terdapat tiga daerah pada grafik hubungan rapat energi dengan ukuran sisi. Pada daerah I, rapat energi demagnetisasi lebih mendominasi dibandingkan dengan rapat energi *exchange*. Daerah ini disebut dengan daerah *single* domain dengan rentang ukuran sisikubus sebesar 23 nm hingga 34 nm. Daerah II, pada rentang 34 nm hingga 40 nm merupakan daerah transisi. Grafik hubungan rapat energi dengan sisi pada daerah ini rapat energi *exchange* cenderung naik namun untuk rapat energi demagnetisasi menurun seiring dengan penambahan ukuran sisi kubus.

Daerah III merupakan daerah *multi* domain dengan energi yang mendominasi adalah energy *exchange*. Daerah ini terjadi pada rentang ukuran sisi kubus 40 nm hingga 50 nm. Dari stuktur domain yang terbentuk, pada daerah *multi* domain. Dari grafik diperoleh ukuran kritis hasil perhitungan secara teori dengan menggunakan persamaan Brown adalah sebesar 34,28 nm. Adapun hasil simulasi memberikan ukuran kritis bahan sebesar 34 nm. Berdasarkan hasil simulasi perhitungan magnetisasi di dalam penentuan ukuran kritis bahan NiFe, diperoleh hasil bahwasanya terdapat kesesuaian hasil simulasi dengan perhitungan secara teori. Persamaan Brown dalam hal ini dapat diaplikasikan untuk bahan magnetik dengan geometri dasar berbentuk *nanocube*.

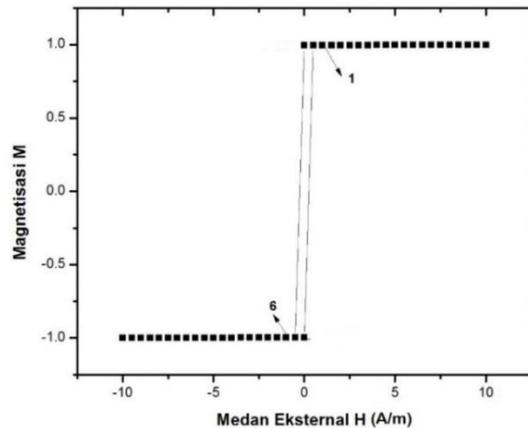
Berdasarkan grafik hubungan rapat energi terhadap ukuran sisi kubus dapat dibuat grafik rapat energi dengan volume bahan NiFe berbentuk *nanocube*. Grafik tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2. Volume kritis *nanocube* yang ditandai oleh garis bernomor (1) menunjukkan nilai sebesar 40,283 nm³. Adapun volume kritis bahan NiFe berbentuk bola, yang ditunjukkan oleh garis bernomor (2).



Gambar 2. Grafik hubungan rapat energi dengan volume (1) garis batas volume kritis bahan berbentuk *nanocube* (2) garis batas volume kritis bahan berbentuk bola.

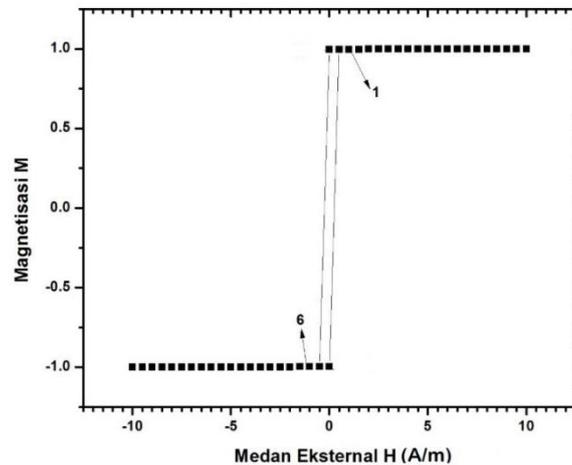
Jika dilihat berdasarkan Gambar 5, kedua volume kritis dari bahan tersebut memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Dapat dikatakan bahwa perubahan domain dari *single* ke daerah transisi, tidak banyak dipengaruhi oleh jenis geometri (baik *nanocube* maupun bola).

Pada kurva untuk struktur *single* domain ditunjukkan pada Gambar 3. Untuk ukuran sisi kubus sebesar 23 nm ini tergolong dalam pembalikan magnetisasi koheren.



Gambar 3. Kurva histeresis ukuran sisi 23 nm (*single* domain).

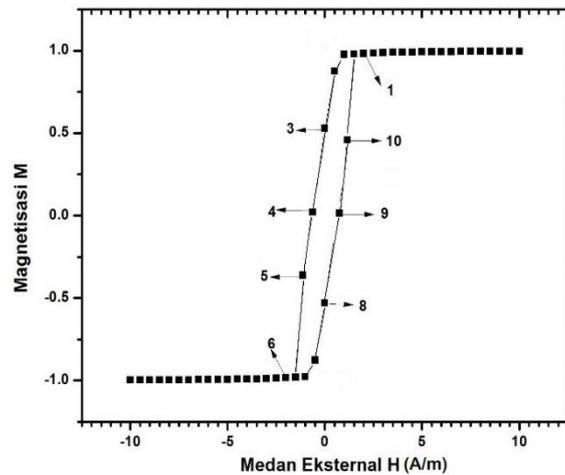
Analisis kurva histeresis untuk daerah transisi diambil pada bahan NiFe yang disimulasikan dengan ukuran sisi kubus 32 nm.



Gambar 4. Kurva histeresis ukuran sisi 34 nm (daerah transisi).

Berdasarkan Gambar 3 dan 4, besarnya medan koersivitas bahan adalah 0,26 A/m (setara dengan $3,2604 \times 10^{-7} \text{T}$). Dengan nilai medan koersivitas yang dapat dikategorikan dalam nilai yang kecil maka pada kurva daerah *single* domain ini menunjukkan bahwa bahan dapat digolongkan dalam *soft* magnet. dimana nilai medan koersivitas yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil dari 0,19 T [10].

Kurva histeresis selanjutnya menjelaskan proses pembalikan magnetisasi pada bahan NiFe dengan ukuran sisi kubus 44 nm. Pada ukuran sisi ini mengalami pembalikan rotasi spin secara koheren.



Gambar 5. Kurva histerisis ukuran sisi 44 nm (*multi domain*).

Daerah koersivitas bahan NiFe pada struktur *multi domain* ditunjukkan pada daerah kurva no 4 dan 9. Nilai dari medan koersivitas dalam hal ini adalah sebesar 0,65 A/m (setara dengan $8,151 \times 10^{-7}$ T).

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian mengenai sifat magnetik berdasarkan ukuran kritis bahan NiFe menggunakan simulasi mikromagnetik, ukuran kritis bahan NiFe yang dianalisis pada grafik hubungan memiliki nilai sebesar 34 nm. Struktur domain yang terbentuk pada rentang (20–32) nm adalah *single domain*, sedangkan pada *multi domain* terletak pada interval ukuran sisi kubus sebesar (38–47) nm. Grafik hubungan rapat energi dengan volume, nilai dari volume kubus sebesar $40,283 \text{ nm}^3$ sedangkan volume bola sebesar 40.288 nm^3 , jika dilihat dari nilai-nilai tersebut perbedaan antara volume kubus dengan bolatidak dipengaruhi oleh bentuk geometri untuk bahan NiFe. Kurva histerisis untuk daerah *single domain* dan transisi nilai medan koersivitas sebesar $3,2604 \times 10^{-6}$ T, sedangkan pada keadaan *multi domain* diperoleh sebesar $8,572 \times 10^{-6}$ T. Bahan ini juga tergolong ke dalam *soft magnet*.

Referensi

- [1] Dobisz E A, Bandić Z Z, Wu T W dan Albrecht T 2008 *Proc. of the IEEE* **96 (11)** p 1836
- [2] Cullity B D dan Graham C 2009 *Introduction to Magnetic Materials Second Edition* (New Jersey: IEEE Press & Wiley)
- [3] Askeland D R, Fulay P P dan Wright W J 2010 *The Science and Engineering of Materials Sixth Edition* (USA: Cengage Learning)
- [4] Ramli R, Djamal M, Haryanto F dan Khairurrijal K 2012 *J. Otomasi Kontrol Instr.* **3** 105
- [5] Kittel C 1996 *Introduction to Solid State Physics* (USA: John Wiley & Sons)
- [6] Brown W F 1963 *Micromagnetics* (USA: Interscience Publishers)
- [7] Skomski R 2008 *Simple Models of Magnetism* (New York: Oxford University Press)
- [8] Widodo A T 2013 *Studi Mikromagnetik Dinamika Struktur Domain pada Material Feromagnetik Py, Ni, Fe, dan Co Model Nanosphere Tesis* (Depok: FMIPA-Universitas Indonesia)
- [9] Yani A, Ridwan dan Mujamilah 2006 *J. Sains Mater. Indones. Edisi Khusus Oktober 2006* 85
- [10] Purnama B, Prihanto H S B R, Artono D dan Suharyana 2013 *J. Pendidik. Fis. Indones.* **9** 191