



**SIFAT-SIFAT MAGNETIK MATERIAL ALLOY BAHAN FePt
BENTUK NANOCUBE DAN NANOSPHERE PADA
BERBAGAI VARIASI UKURAN**

SKRIPSI

Oleh

Nur Ifa Yuni Lensia

NIM 151810201030

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2019



**SIFAT-SIFAT MAGNETIK MATERIAL ALLOY BAHAN FePt
BENTUK NANOCUBE DAN NANOSPHERE PADA
BERBAGAI VARIASI UKURAN**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S-1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Nur Ifa Yuni Lensia

NIM 151810201030

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2019

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

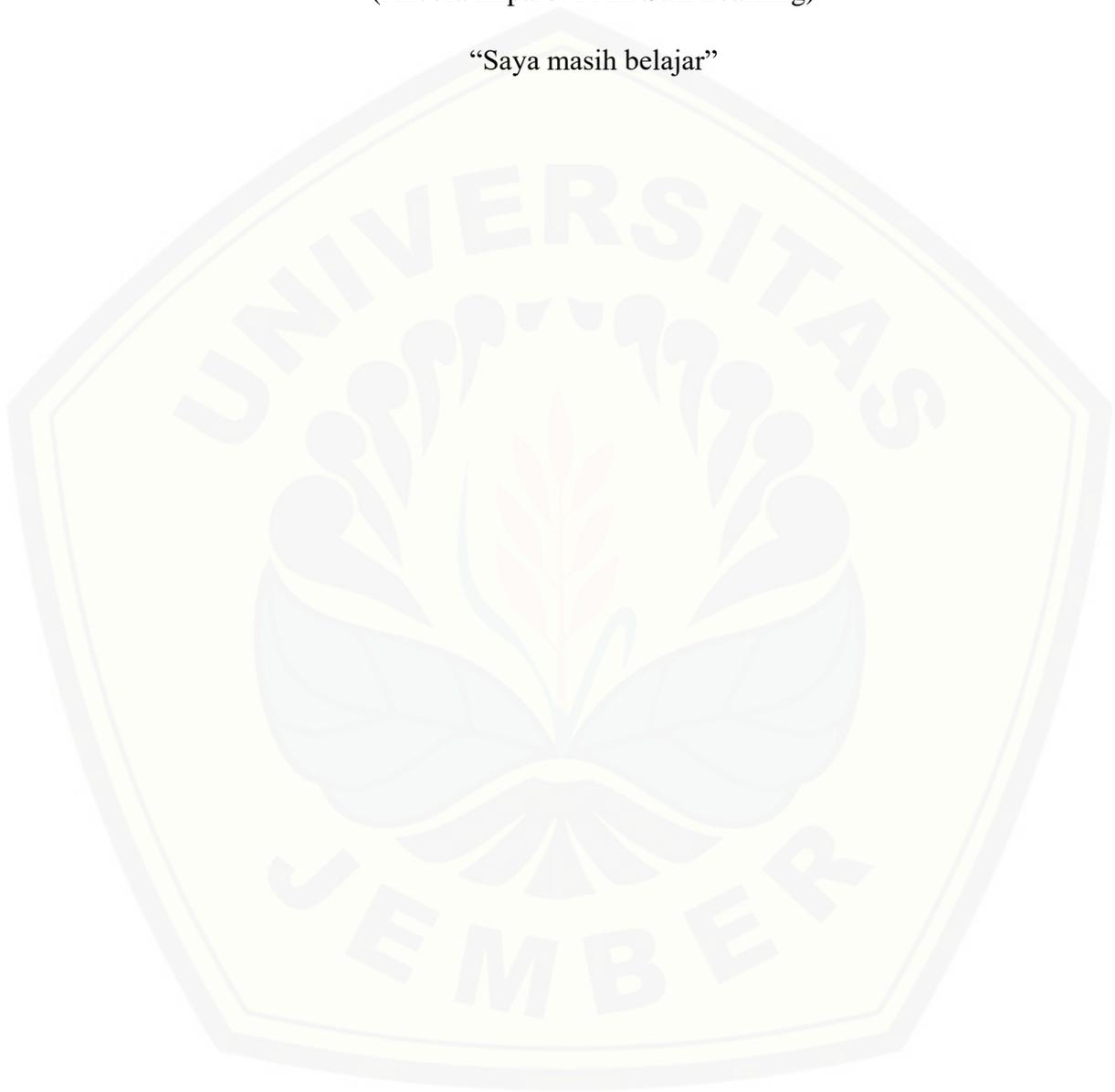
1. Ibunda Sukei, Ayahanda Iksan, Kakak Moch.Wahid dan Umul Wakhida dan seluruh keluarga terkasih yang tidak pernah kenal lelah selalu memberi nasihat, semangat serta doa-doanya.
2. Guru-guruku sejak Taman Kanak-Kanak hingga Sekolah Menengah Atas dan Dosen-dosen serta Teknisi di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jember yang telah mendidik dengan penuh perhatian, kesabaran,dan keikhlasan.
3. Teman-temanku sejak Taman Kanak-Kanak hingga Perguruan Tinggi (Ganesha Phi 2015) yang dengan tulus menemaniku disaat duka maupun suka.

MOTTO

“Jika orang lain bisa, maka aku juga bisa“

(Ancora Imparo: I Am Still Learning)

“Saya masih belajar”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah sini:

Nama : Nur Ifa Yuni Lensia

Nim : 151810201030

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Sifat-Sifat Magnetik Material *Alloy* Bahan FePt Bentuk *Nanocube* dan *Nanosphere* Pada Berbagai Variasi Ukuran” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Oktober 2019

Yang menyatakan,

Nur Ifa Yuni Lensia

151810201030

SKRIPSI

**SIFAT-SIFAT MAGNETIK MATERIAL *ALLOY* BAHAN FePt
BENTUK *NANOCUBE* DAN *NANOSPHERE* PADA
BERBAGAI VARIASI UKURAN**

Oleh

Nur Ifa Yuni Lensia

Nim 151810201030

Pembimbing

Dosen pembimbing utama : Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.

Dosen pembimbing anggota : Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sifat-Sifat Magnetik Material *Alloy* Bahan FePt Bentuk *Nanocube* dan *Nanosphere* Pada Berbagai Variasi Ukuran” telah diuji dan disahkan:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dr. Lutfi Rohman, S.Si.,M.Si.

Bowo Eko Cahyono,S.Si.,M.Si.,Ph.D.

NIP.197208201998021001

NIP.197202101998021001

Anggota I

Anggota II

Dr.Sutisna, S.Pd., M.Si.

Dr.Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.

NIP.197301152000031001

NIP.196712151998021001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas MIPA

Drs. Sujito, Ph.D

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Sifat-Sifat Magnetik Material Alloy Bahan FePt Bentuk Nanocube dan Nanosphere Pada Berbagai Variasi Ukuran; Nur Ifa Yuni Lensia, 151810201030: 62 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Hard Disk Drive (HDD) merupakan perangkat penyimpanan data yang digunakan untuk menyimpan dan mengambil informasi digital menggunakan *disk* (piringan) yang dilapisi dengan bahan magnetik. Salah satu bahan magnetik yang digunakan untuk melapisi piringan HDD adalah bahan feromagnetik. Material magnetik banyak dimanfaatkan dalam bidang industri khususnya dalam bidang elektronika. Material yang dimanfaatkan dalam bidang elektronika adalah material feromagnetik yang pada umumnya berasal dari alam. Beberapa material feromagnetik yaitu Fe, Ni, Gd, Co dan paduannya (*alloy*). Material *alloy* FePt merupakan suatu material yang telah menerima banyak perhatian dari komunitas riset magnetik karena memiliki *magnetocrystalline* anisotropi yang sangat tinggi sekitar 10^7 joule/m³. Karena anisotropi yang dimiliki FePt tinggi maka koersivitas yang dihasilkan akan tinggi, sehingga FePt berpotensi diaplikasikan dalam media perekam magnetik. Material *alloy* FePt merupakan material *thin film hard magnetic*, karena memiliki *magnetocrystalline* anisotropi dan saturasi magnetik yang tinggi.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui ukuran kritis bahan FePt dengan bentuk *nanocube* dan *nanosphere* berdasarkan variasi ukuran sisi kubus dan diameter bola. Ukuran kritis dianalisis dengan grafik hubungan rapat energi dengan sisi dan grafik hubungan rapat energi dengan diameter. Rapat energi yang digunakan pada grafik yaitu rapat energi *exchange*, rapat energi demagnetisasi dan rapat energi total. Kemudian menganalisis kurva histerisis untuk menunjukkan sifat magnetik bahan FePt, sifat magnetik yang dianalisis dalam kurva histerisis adalah magnetisasi. Kurva histerisis ini menganalisis tiga daerah domain yaitu *single domain*, transisi, *multi domain*.

Hasil simulasi yang diperoleh dengan menganalisis grafik hubungan rapat energi dengan ukuran sisi kubus dan diameter bola terdapat tiga daerah yakni *single domain*, transisi, dan *multi domain* yang menunjukkan bahwa ukuran kritis pada bentuk *nanocube* sebesar 11 nm sedangkan pada bentuk *nanosphere* nilai ukuran kritis sebesar 14 nm. Nilai tersebut didapatkan dari hasil titik terakhir dalam daerah *single domain* yang akan menuju ke daerah transisi. Struktur *single domain* untuk bentuk *nanocube* terjadi pada 8 nm – 10 nm, sedangkan struktur *multi domain* terjadi pada 14 nm – 24 nm. Dan struktur *single domain* untuk bentuk *nanosphere* terjadi pada 10 nm – 12 nm. Sedangkan struktur *multi domain* terjadi di atas

diameter kritis yaitu 16 nm – 24 nm. Hasil tersebut diperkuat dengan adanya hubungan grafik profil rapat energi terhadap variasi ukuran sisi dan diameter. Energi-energinya adalah energi total, energi demagnetisasi, energi *exchange* dan mempertimbangkan ke persamaan Brown.

Analisis kurva histeresis untuk sifat magnetik bahan FePt untuk masing-masing daerah domain yang berbeda-beda. Untuk bentuk *nanocube* pada daerah *single* domain sebesar 8 nm dengan nilai medan koersivitas $1,884 \times 10^{-6}$ T. Daerah transisi diwakilkan pada ukuran sisi kubus sebesar 11 nm dengan nilai medan koersivitas $2,010 \times 10^{-6}$ T dan untuk *multi* domain diwakilkan dengan ukuran sisi kubus 24 nm dengan nilai medan koersivitas sebesar $2,513 \times 10^{-6}$ T. Untuk bentuk *nanosphere* daerah *single* domain diwakilkan dengan ukuran diameter 10 nm dengan nilai medan koersivitas $2,010 \times 10^{-6}$ T. Daerah transisi diwakilkan pada diameter 14 nm dengan nilai medan koersivitas $3,769 \times 10^{-7}$ T, sedangkan untuk daerah multi domain diwakilkan pada diameter 24 nm dengan nilai medan koersivitas $1,382 \times 10^{-6}$ T. Melalui analisis kurva histeresis menunjukkan bahwa semakin besar nilai ukuran sisi kubus dan ukuran diameter maka nilai dari medan koersivitas yang dihasilkan juga akan semakin besar.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sifat-Sifat Magnetik Material *Alloy* Bahan FePt Bentuk *Nanocube* dan *Nanosphere* Pada Berbagai Variasi Ukuran”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bowo Eko Cahyono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Drs. Yuda C. Hariadi, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang senantiasa memberikan bimbingan selama penulisan menjadi mahasiswa;
4. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
5. Teman-teman tim fisika komputasi yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini;
6. Sahabat-sahabat tercinta Luq'il Ma'nun, Ayu Triwardani, Dini Ayu K.W., Rofiqoh Ulfatus M, Pipin Okvitasari, Prayunda Setia P, Cut Yuniatul M, Erni Emawati, Suci Novitasari, Faridatur Rizkiyah, Lia Luthfika dan Anis Wardatus S yang selalu menyemangati, menasehati serta mengisi hari-hariku dengan tawa dan candaan;
7. Teman-teman seperjuangan angkatan 2015 (Ganesha Phi 15) dan UKM SPORA yang telah memberi pengalaman selama menjadi mahasiswa;

8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

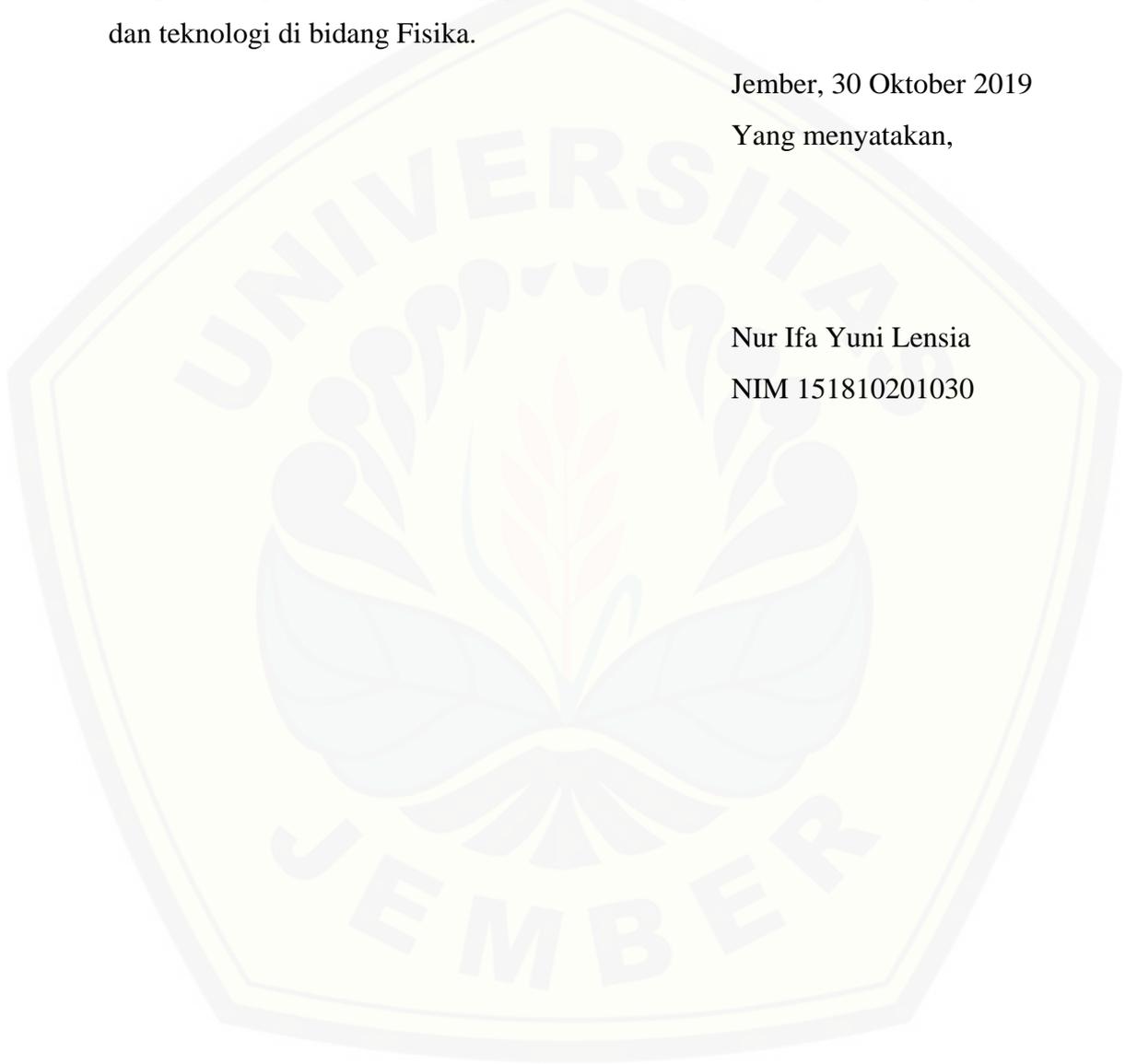
Penulisan menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh sebab itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang Fisika.

Jember, 30 Oktober 2019

Yang menyatakan,

Nur Ifa Yuni Lensia

NIM 151810201030



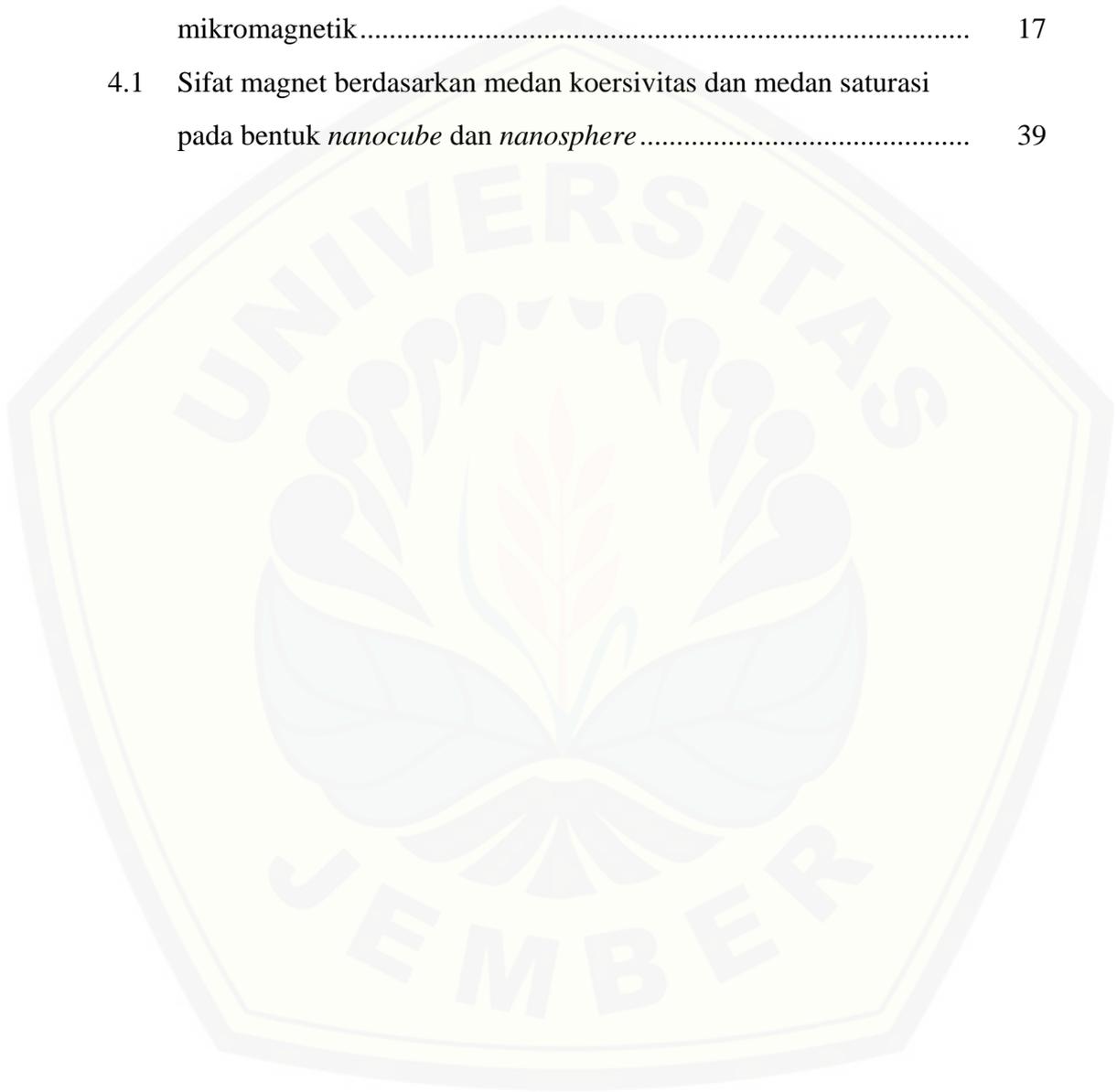
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Material Magnetik	5
2.1.1 paramagnetik	5
2.1.2 diamagnetik	5
2.1.3 Feromagnetik	6
2.2 Bahan <i>alloy</i> FePt	7
2.3 Kurva Histerisis	8
2.4 Domain Magnet dan Domain <i>Wall</i>	9
2.5 Struktur Domain	10
2.5.1 <i>Single</i> Domain	10
2.5.2 <i>Multi</i> Domain	11
2.6 Diameter Kritis	12
2.7 Simulasi Mikromagnetik	13
2.8 Dinamika Magnetisasi	13
BAB 3. METODE PENELITIAN	16
3.1 Rancangan Penelitian	16
3.2 Jenis dan Sumber Data	17
3.3 Definisi Operasional Variabel	17
3.3.1 Variabel Bebas	17
3.3.2 Variabel Terikat	17

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	18
3.5 Prosedur Kerja	18
3.6 Metode Analisis Data	20
3.6.1 Analisis Penentuan Ukuran Kritis Bahan FePt	20
3.6.2 Analisa sifat magnetik bahan FePt berdasarkan kurva histerisis	21
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 Pengaruh Variasi Ukuran Kritis Bahan Terhadap Struktur Domain Bahan Alloy FePt	22
4.1.1 Grafik Hubungan Rapat Energi dengan Ukuran Sisi Pada Bentuk <i>Nanocube</i>	23
4.1.2 Grafik Hubungan Rapat Energi dengan Ukuran Sisi Pada Bentuk <i>Nanosphere</i>	25
4.2 Analisis Sifat Magnetik Bahan FePt Menggunakan Kurva Histerisis	28
4.2.1 Kurva Histerisis bahan FePt untuk bentuk <i>nanocube</i>	28
4.2.2 Kurva Histerisis bahan FePt untuk bentuk <i>nanosphere</i>	33
4.3 Analisis Medan Koersivitas dan Medan Saturasi pada <i>Nanocube</i> dan <i>Nanosphere</i>	38
BAB 5. PENUTUP	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Parameter material alloy Fe50Pt50 untuk input data simulasi mikromagnetik.....	17
4.1 Sifat magnet berdasarkan medan koersivitas dan medan saturasi pada bentuk <i>nanocube</i> dan <i>nanosphere</i>	39



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Momen magnetik material paramagnetik (a) tanpa pengaruh medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) ...	5
2.2 Momen magnetik material diamagnetik (a) dengan tanpa medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) ...	6
2.3 Skema material feromagnetik saat tidak ada adanya medan Magnet	6
2.4 Struktur kristal <i>alloy</i> FePt (a) FCC (b) FCT	7
2.5 (a) Kurva histerisis (b) Kurva histerisis soft magnetik (c) Kurva histerisis hard magnetik material feromagnetik	9
2.6 Konfigurasi momen magnet dalam domain <i>wall</i> berubah secara perlahan-lahan membentuk struktur domain <i>wall</i> 180° dikenal dengan Bloch <i>wall</i>	10
2.7 Kemungkinan konfigurasi domain magnet saat energi minimum (groundstate) dari partikel magnet bola (spherical magnetic particle), (a) <i>single</i> -domain, (b) two-domain dan (c) vortek-state.....	11
2.8 Skema perubahan nilai koersivitas pada partikel feromagnetik dengan diameter	12
2.9 Gerak presisi dari momen magnet terhadap medan efektif (a) tanpa redaman (b) dengan redaman (damping)	15
3.1 Diagram fishbone prosedur penelitian	18
3.2 Desain geometri bentuk bola.....	19
3.3 Desain geometri bentuk kubus	19
3.4 Grafik pengaruh variasi diameter terhadap rapat energi	20
3.5 Kurva histerisis bahan Feromagnetik.....	21
4.1 Grafik profil rapat energi pada bahan <i>alloy</i> FePt bentuk <i>nanocube</i>	

	terhadap variasi ukuran sisi	23
4.2	Visualisasi struktur domain bahan FePt dengan variasi sisi, antara lain: (a) Daerah <i>single</i> domain dengan ukuran 8 nm, (b) transisi dengan ukuran 11 nm, (c) Daerah <i>multi</i> domain dengan ukuran 26 nm.....	24
4.3	Grafik profil rapat energi pada bahan <i>alloy</i> FePt bentuk <i>nanosphere</i> terhadap variasi diameter	26
4.4	Visualisasi struktur domain bahan FePt dengan variasi diameter, antara lain: (a) Daerah <i>single</i> domain dengan ukuran 10 nm, (b) transisi dengan ukuran 14 nm, (c) Daerah <i>multi</i> domain dengan ukuran 26 nm.....	27
4.5	(a) Kurva Histerisis bahan FePt dengan ukuran sisi kubus 8 nm (<i>single</i> domain) (b) Visualisasi arah pembalikan spin	29
4.6	(a) Kurva histerisis ukuran sisi 11 nm (daerah transisi) (b) Visualisasi arah pembalikan spin	30
4.7	(a) Kurva histerisis ukuran sisi 24 nm (daerah <i>multi</i> domain) (b) Visualisasi arah pembalikan spin	32
4.8	(a) Kurva histerisis ukuran diameter 10 nm (daerah <i>single</i> domain) (b) Visualisasi arah pembalikan spin	34
4.9	(a) Kurva histerisis ukuran diameter 14 nm (daerah transisi) (b) Visualisasi arah pembalikan spin	36
4.10	(a) Kurva histerisis ukuran diameter 26 nm (daerah <i>multi</i> domain) (b) Visualisasi spin pembalikan arah	38

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi berakibat data yang disimpan secara manual akan semakin menurun. Semua penyimpanan dan pengembalian data dilakukan menggunakan perangkat seperti laptop, komputer dan ponsel, akan disimpan dalam penyimpanan data digital. *Hard Disk Drive* (HDD) merupakan perangkat penyimpanan data yang digunakan untuk menyimpan dan mengambil informasi digital menggunakan *disk* (piringan) yang dilapisi dengan bahan magnetik. Salah satu bahan magnetik yang digunakan untuk melapisi piringan HDD adalah bahan feromagnetik (Chaudary dan Kansal, 2015).

Media penyimpanan yang dapat berkembang salah satunya adalah (HDD). (HDD) merupakan perangkat media perekam magnetik dengan sejarah yang panjang, sejak diciptakannya HDD pertama oleh IBM dengan nama RAMAC (*Random Access Method of Accounting and Control*) (Wahyudi, 2005). Sejauh ini HDD mengalami perkembangan dalam peningkatan kapasitas HDD, yaitu dengan kemampuan akses semakin cepat, tetapi dengan ukuran yang semakin kecil (Muhammady *et al.*, 2012).

Pendekatan yang diajukan untuk masalah ini yaitu membuat media perekam magnetik berbentuk *patterned media*. Media perekam ini disusun oleh bahan feromagnetik berstruktur nanopartikel berupa *magnetic island*. Satu *magnetic island* disusun oleh beberapa *grain* yang terisolasi secara magnetik. Satu *grain* hanya memiliki satu domain magnet (*single domain*). Selanjutnya, hasil yang diharapkan dalam satu *magnetic island* terdiri dari *single pre-patterned grain* yaitu sebuah *grain* berukuran nano, dimana untuk satu bit data hanya membutuhkan satu *magnetic island* (Robertson, 2010). Dimensi *magnetic island* dapat berbentuk bola (*nanospheres*), kubus (*nanocubes*), *ellipsoid*, silinder, heksagonal, dan berbentuk lain yang lebih kompleks (Alvarez, 2008).

Material magnetik banyak dimanfaatkan dalam bidang industri khususnya dalam bidang elektronika. Material yang dimanfaatkan dalam bidang elektronika

adalah material feromagnetik yang pada umumnya berasal dari alam. Beberapa material feromagnetik yaitu Fe, Ni, Gd, Co dan paduannya (*alloy*). Sifat intrinsik dari material feromagnetik diantaranya memiliki sifat kemagnetan yang kuat, temperatur Curie dan momen magnet yang searah walaupun tanpa adanya medan eksternal yang membuat material ini banyak dimanfaatkan salah satunya sebagai media perekam data (Sharif *et al.*, 2007).

Material *alloy* FePt merupakan suatu material yang telah menerima banyak perhatian dari komunitas riset magnetik karena memiliki *magnetocrystalline* anisotropi yang sangat tinggi sekitar 10^7 joule/m³. Karena anisotropi yang dimiliki FePt tinggi maka koersivitas yang dihasilkan akan tinggi, sehingga FePt berpotensi diaplikasikan dalam media perekam magnetik (Evans, 2008). Parameter yang dimiliki material *alloy* FePt diantaranya yaitu *exchange coupling* sebesar $1,03 \times 10^{-11}$ J/m, magnetisasi saturasi $1,4 \times 10^6$ A/m, dan konstanta *magnetocrystalline* anisotropi bernilai $6,6 \times 10^5$ J/m³ (Naturalium, 2006). Material *alloy* FePt merupakan material *thin film hard magnetic*, karena memiliki *magnetocrystalline* anisotropi dan saturasi magnetik yang tinggi (Myung *et al.*, 2000). Hal tersebut menunjukkan bahan *alloy* FePt memiliki magnetisasi saturasi yang lebih besar dibandingkan *alloy* CoPd, Py, Ni, dan Co. Magnetisasi saturasi ini dapat mempengaruhi besar diameter kritis material sebagai penentu struktur *single domain* dan struktur *multi domain* (Widodo, 2013).

Penelitian tentang domain magnet bahan *alloy* FePt telah dilakukan oleh Lutviana (2018) dengan diameter 10 nm – 36 nm pada interval 2 nm menggunakan simulator Nmag. Hasil penelitian menunjukkan perubahan struktur domain dari *single domain* menjadi *multi domain* yang dibatasi oleh titik diameter kritis yang berada pada diameter 15 nm. Struktur *single domain* terjadi pada diameter di bawah diameter kritis yaitu 10 nm – 14 nm, sedangkan struktur *multi domain* terjadi pada diameter di atas diameter kritis yaitu 16 nm – 36 nm. Hasil tersebut diperkuat dengan adanya grafik profil rapat energi terhadap variasi diameter. Penelitian selanjutnya yaitu penentuan sifat *alloy* FePt dilakukan oleh Naturalium (2006) dimana hasil yang diperoleh menyatakan bahwa bahan FePt tersebut memiliki konstanta anisotropi $6,6 \times 10^5$ J/m³, medan anisotropi ($\mu_0 H_A$) 11,5 T,

magnetisasi saturasi $\mu_0 M_s = 1,43 T$ dan *exchange length* $I_{ex} = 2 \text{ nm}$ (Naturalium, 2006). Hasil tersebut menunjukkan bahwa bahan *alloy* FePt memiliki magnetisasi saturasi yang lebih besar dibandingkan *alloy* CoPd, Py, Ni, dan Co. Magnetisasi saturasi ini dapat mempengaruhi besar diameter kritis material sebagai penentu struktur *single* domain dan struktur multi domain (Widodo, 2013). Oleh karena itu bahan *alloy* FePt inilah yang akan digunakan sebagai bahan pengaplikasian struktur domain magnetik.

Sifat magnet bahan-bahan feromagnetik sangat dipengaruhi oleh ukuran sel. Sel yang dipandang hanya memiliki dipol magnetik tunggal yang terisolasi yang disebut domain tunggal atau *single domain*. Partikel magnetik yang tetap dalam satu domain tunggal untuk semua medan magnet disebut partikel domain tunggal. Jika sebuah partikel dalam keadaan domain tunggal, semua magnetisasi internalnya menunjuk ke arah yang sama. Partikel yang merupakan domain tunggal di semua medan magnet mengubah keadaannya dengan rotasi magnetisasi yang menghasilkan koersivitas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan jika memiliki lebih dari satu domain. Hal ini dikarenakan jika lebih dari satu domain magnetik, transisi antara satu domain dan tetangganya melibatkan rotasi magnetisasi untuk membentuk dinding domain. Kutub-kutub bebas pada permukaan *single domain* menghasilkan suatu energi magnetik yang bertambah dengan volume butir. Pada ukuran tertentu, energi tersebut menjadi cukup besar karena medan demagnetisasi yang cenderung memutar magnetisasi *single* cara mengurangi momen magnet total dan memecah magnetisasi menjadi beberapa domain yang dinamakan domain jamak atau *multi domain* (Mahardika, 2018).

Penelitian dalam bidang mikromagnetik dapat dilakukan secara eksperimen dan komputasi. Dalam bidang komputasi penelitian dilakukan dengan cara simulasi mikromagnetik. Program yang tersedia untuk melakukan simulasi beragam jenisnya, beberapa diantaranya adalah Nmag, OOMF dan *Vampire*. Pada penelitian ini digunakan program simulasi Nmag pada Operating System (OS) Linux. Selain menggunakan program Nmag (*Nano Magnetic*), untuk dapat menganalisis sifat-sifat kemagnetan suatu bahan juga diperlukan Software *Origin* dan *Mayavi*. *Origin* berfungsi sebagai program yang mengolah data output dari Nmag, dan

menampilkannya dalam bentuk diagram maupun grafik yang selanjutnya akan dianalisis. Sedangkan *Mayavi* digunakan untuk membuat visualisasi struktur domain dalam 3 dimensi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Barapakah ukuran kritis bahan FePt yang dihasilkan dari simulasi mikromagnetik ?
2. Berapa nilai medan koersivitas dan medan saturasi dari kurva histerisis ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sifat magnetik bahan hanya dilihat dari karakteristik spin domain, kurva histerisis dan energi magnetiknya,
2. Penelitian yang dilakukan dalam simulasi mikromagnetik
3. Penelitian ini menggunakan simulasi mikromagnetik dengan software Nmag pada *Linux*,
4. Struktur domain berupa *single domain*, transisi dan *multi domain*

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui ukuran kritis bahan yang dihasilkan dari simulasi mikromagnetik
2. Mengetahui nilai medan koersivitas dan medan saturasi dari kurva histerisis

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu sebagai acuan bahan dasar dari pembuatan media penyimpanan magnetik. Penelitian ini juga memberi informasi mengenai diameter kritis dan karakteristik bahan *alloy* FePt yang baik digunakan untuk perekam magnetik.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Material Magnetik

Material magnetik adalah material yang mempunyai sifat magnetik. Sifat magnetik adalah fenomena suatu bahan menarik atau menolak material lain yang berada di dekatnya. Contohnya dari material magnetik yaitu besi, baja, nikel, kobalt serta paduannya (Callister dan Rethwisch, 2009). Berdasarkan nilai suseptibilitas material magnetik dibedakan menjadi 3 yaitu feromagnetik, paramagnetik, dan diamagnetik.

2.1.1 Paramagnetik

Material paramagnetik adalah material magnetik yang sedikit menarik garis gaya magnetik. Permeabilitasnya sedikit lebih besar dari 1 dan susunan dikutubnya tidak beraturan. Jika tidak ada medan magnetik luar, bahan ini tidak memperlihatkan efek magnetik karena momen magnetik total akibat gerak orbital dan elektron relatif kecil. Tetapi jika diberikan pengaruh dari medan magnet luar, maka akan timbul momen yang cenderung menyejajarkan medan magnetik dalam dengan medan magnetik luar. Contoh bahan ini adalah oksigen, sodium, aluminium, tungsten, gadolinium, platinum dan titanium (Smith, 1993).

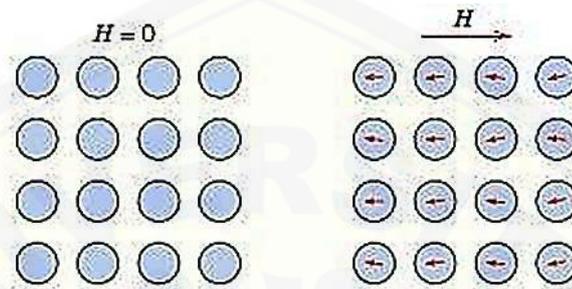


Gambar 2.1 Momen magnetik material paramagnetik (a) tanpa pengaruh medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) (Callister dan Rethwisch, 2009).

2.1.2 Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan magnetik yang apabila didekatkan dengan magnet tidak akan tertarik oleh magnet karena permeabilitasnya kurang dari 1 sehingga sulit menyalurkan garis gaya magnet. Bahan ini ialah bahan dimana

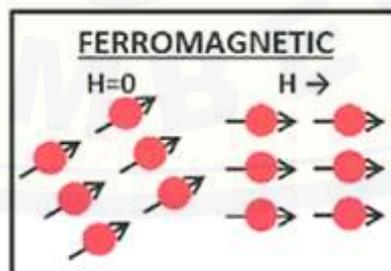
momen magnetik dari seluruh elektron dalam setiap atom saling meniadakan, yang membuat setiap atom memiliki momen magnetik nol tanpa adanya medan luar. Dalam medan luar, momen magnetik yang sangat kecil diinduksikan dan cenderung memperlemah medan tersebut. Contoh: Bismut (Bi), Tembaga (Cu), Emas (Au), Aluminium oksida (Al_2O_3), Nikel (II), Sulfat (NiSO_4). (Tipler, 2001).



Gambar 2.2 Momen magnetik material diamagnetik (a) dengan tanpa medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) (Callidrister dan Rethwisch, 2009).

2.1.3 Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik adalah merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnet positif, yang sangat tinggi. Bahan ferromagnetik sangat mudah dipengaruhi medan magnet karena mempunyai resultan medan magnet atomis yang besar, sehingga apabila bahan ini diberi medan magnet dari luar maka elektron-elektronnya akan mengusahakan dirinya untuk menimbulkan medan magnet luar (Tipler, 2001). Beberapa contoh material ferromagnetik adalah seperti unsur Fe, Ni, Co, Gd, dan Dy (Puri dan Babbar, 2001).

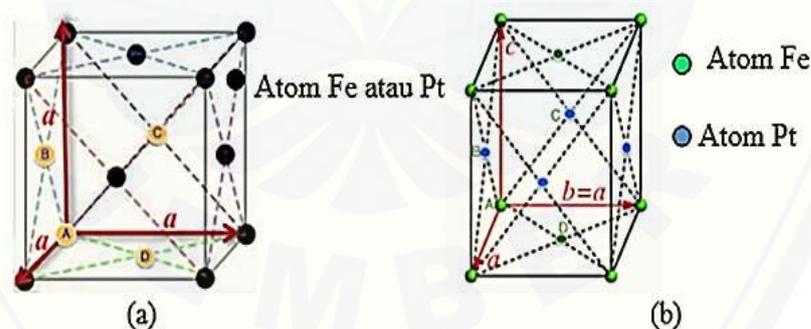


Gambar 2.3 Skema material ferromagnetik saat tidak ada adanya medan magnet (Sumber: Lacovacci et al., 2016).

2.2 Bahan *alloy* FePt

Bahan *alloy* merupakan bahan paduan antara bahan yang mempunyai unsur logam dengan logam. Bahan FePt termasuk bahan *alloy* karena bahan Fe (*iron*) yang termasuk bahan feromagnetik yang dipadukan dengan bahan logam transisi yaitu Pt (*platinum*). Bahan *alloy* FePt memiliki *magnetocrystalline* anisotropi yang sangat tinggi sekitar 10^5 - 10^6 joule/m³ yang memungkinkannya memiliki butiran magnetik termal yang sangat kecil yakni mendekati 2,6 nm. Karena anisotropi yang dimiliki FePt tinggi maka koersivitas yang dihasilkan akan tinggi (Evans, 2008).

Bahan *alloy* FePt membentuk dua struktur kristal utama yaitu FCC (*Face Centered Cubic*) dan FCT (*Face Centered Tetragonal*). Struktur FCC disebut juga struktur A1 yang terdiri dari kubus yang memiliki sisi sepanjang a_{fcc} . Setiap sudut dan setiap sisi dari kubus memiliki atom seperti yang terlihat pada gambar 2.3(b). Pada struktur FCC, setiap atom Fe dan Pt ditempatkan secara acak dalam struktur kisi. Sebaliknya, struktur FCT memecah simetri kubik struktur FCC dengan mengubah panjang salah satu sisi seperti gambar 2.3(b). Tidak seperti struktur FCC, atom Fe dan Pt membentuk lapisan bergantian sepanjang sumbu pada fase teratur FCT. Berikut ini merupakan gambar struktur kristal FePt dengan struktur FCC yang digambarkan pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur kristal *alloy* FePt (a) FCC (b) FCT (Sumber: Herde, 2013).

Parameter yang dimiliki bahan *alloy* Fe₅₀Pt₅₀ diantaranya yaitu energi *exchange* (A) sebesar $1,03 \times 10^{-11}$ J/m, magnetisasi saturasi (Ms) $1,43 \times 10^6$ A/m (Ampere/meter), konstanta *magnetocrystalline* anisotropi bernilai (K) $6,6 \times 10^5$ J/m³, medan anisotropi (H_A) 11,5 T dan $I_{ex} = 2$ nm (Naturalium, 2006).

2.3 Kurva Histerisis

Histerisis adalah suatu sifat yang dimiliki oleh sistem dimana sistem tidak secara cepat mengikuti gaya yang diberikan kepadanya, tetapi memberikan reaksi secara perlahan, atau bahkan sistem tidak kembali lagi ke keadaan awalnya (Yani *et al*, 2014). Kurva histerisis merupakan karakterisasi material magnet yang menggambarkan material dapat dimagnetisasi atau didemagnetisasi (Nursiyanto *et al*, 2015). Pada dasarnya kurva histerisis mempersentasikan suatu proses magnetisasi dan demagnetisasi oleh suatu medan magnet luar. Karakteristik bahan feromagnetik yang dipengaruhi oleh induksi magnetik, medan magnet luar, dan magnetisasi ditunjukkan dalam bentuk kurva histerisis. Pada dasarnya kurva histerisis mempersentasikan suatu proses magnetisasi dan demagnetisasi oleh suatu medan magnet luar. Kurva histerisis dapat diperoleh dengan memetakan magnetisasi material \mathbf{M} untuk besar kuat medan magnet yang diberikan \mathbf{H} . Cara lain yang digunakan yaitu dengan memetakan induksi medan magnet \mathbf{B} di dalam material feromagnetik terhadap kuat medan magnet \mathbf{H} yang berbeda-beda (Widodo, 2013). Hubungan antara medan magnet luar, induksi magnet, dan magnetisasi dari suatu kurva histerisis material feromagnetik dapat dipersentasikan ke dalam persamaan (2.1)

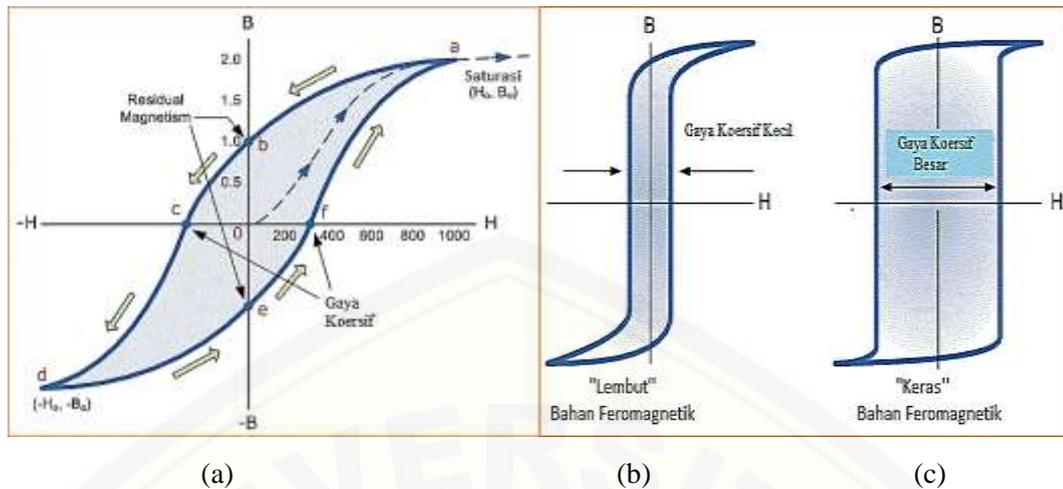
$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (2.1)$$

dimana \mathbf{B} adalah induksi magnet, \mathbf{H} medan magnet yang diberikan, \mathbf{M} magnetisasi, dan μ_0 permeabilitas ruang hampa. Diketahui bahwa:

$$\mathbf{J} = \mu_0\mathbf{M} \quad (2.2)$$

dimana \mathbf{J} merupakan polarisasi, maka persamaan (2.2) menjadi:

$$\mathbf{B} = \mu_0\mathbf{H} + \mathbf{J} \quad (2.3)$$



Gambar 2.5 (a) Kurva histerisis (b) Kurva histerisis soft magnetik (c) Kurva histerisis hard magnetik material ferromagnetik (Nursiyanto et al, 2015).

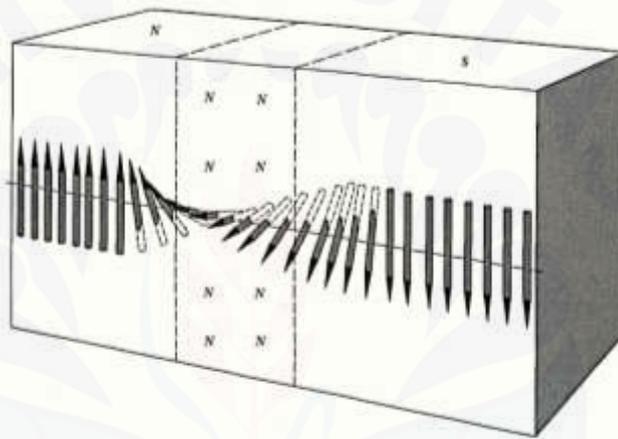
Kurva histerisis pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu kurva histerisis *soft* dan *hard* magnet. Gambar 2.9 menunjukkan bahwa berdasarkan medan koersivitas dari kurva histerisisnya dapat dibedakan menjadi *soft* magnet dan *hard* magnet. Pada *soft* magnet nilai koersivitas dan remanen yang cukup kecil ditunjukkan dengan bentuk loop kurva histerisisnya yang melebar besar seperti persegi panjang. Bentuk loop kurva yang dibutuhkan untuk aplikasi perekam magnetik yaitu memiliki magnetisasi remanen besar, koersivitas sedang, dan idealnya memiliki bentuk persegi (Widodo, 2013). Berdasarkan bentuk kurva histerisisnya, material magnetik diklasifikasikan menjadi magnet lunak yang memiliki nilai koersivitas dibawah 1 kA/m, dan magnet keras yang memiliki nilai koersivitas di atas 10 kA/m (Rohman, 2013).

2.4 Domain Magnet dan Domain Wall

Domain adalah daerah di dalam kristal dimana semua sel satuan pada daerah tersebut memiliki orientasi magnetik yang sama. Pada suhu tinggi dipol magnetik dari atom individual terorientasi secara acak. Selama pendinginan dibawah temperatur *Curie*, terjadi hubungan antara dipol magnetik dari atom yang berdekatan. Hal ini menghasilkan orientasi magnetik yang pada banyak sel satuan sehingga terbentuk suatu domain. Pada daerah domain seluruh spin magnetik mempunyai arah yang sama. Domain magnet ini terbentuk untuk mengurangi

energi sistem yang terpisah dengan yang lain oleh domain atau *bloch wall*, yaitu suatu area dengan energi sistem yang tinggi karena memiliki arah medan yang berlawanan (Rohman, 2013).

Domain *wall* yaitu daerah transisi yang membatasi antara domain magnet dalam bahan feromagnetik. Seorang ilmuwan bernama Bloch pada tahun 1932 mengamati konfigurasi spin dalam domain *wall* berubah secara perlahan-lahan pada bidang kristal dan dikenal sebagai *Bloch wall*. Ketika spin berorientasi pada bidang yang sejajar dengan *domain wall* pada bahan dengan berbentuk lapisan tipis, orientasi spin berada di sepanjang lapisan tipis.



Gambar 2.6 Konfigurasi momen magnet dalam domain wall berubah secara perlahan-lahan membentuk struktur domain wall 180° dikenal dengan Bloch wall (Sumber: Mardona, 2012).

Domain wall magnet yang terbentuk pada material feromagnetik merupakan kompetisi antara energi *exchange* dan energi anisotropi. Energi *exchange* cenderung untuk mempertebal *domain wall*, namun karena transisi arah spin menyebabkan efek anisotropi meningkat yang cenderung untuk membuat *domain wall* menipis. Pada kondisi kesetimbangan, energi dan lebar *domain wall* dapat ditentukan dari energi *exchange* dan energi anisotropi (Widodo, 2013).

2.5 Struktur Domain

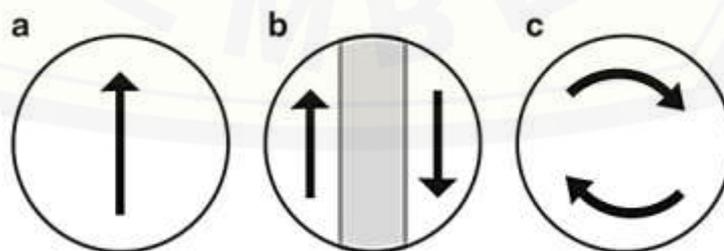
2.5.1 *Single* Domain (Domain Tunggal)

Stoner dan Wohlfarth pada tahun 1948 mengusulkan model yang menggambarkan fenomena magnetik pada partikel kecil (small particles). Model

ini menganggap bahwa partikel magnetik memiliki domain yang homogen (domain tunggal) dengan bentuk elipsoid. Pada keadaan ini, magnetisasi dihasilkan oleh dipol-dipol yang searah (baik besar maupun arah). Magnetisasi total dari sistem merupakan penjumlahan vektor dipol individu yang terkandung di dalam sistem. Sehingga magnetisasi sistem dapat digambarkan sebagai vektor tunggal $|M| = \sum_i^N m_i = Nm$. Model ini menganggap spin-spin dalam sistem berinteraksi sangat lemah, dalam arti lain, model ini mengabaikan interaksi *exchange* yang terjadi dalam sistem. Berdasarkan pendekatan mikromagnetik, pada saat *single-domain*, dimana keseluruhan momen magnet sejajar sumbu anisotropinya, maka kontribusi energi *exchange* dan energi yang relevan adalah energi magnetostatik. Sebuah partikel dengan struktur domain tunggal (*single-domain*) sering disebut sebagai partikel Stoner-Wohlfarth (Mardona, 2012).

2.5.2 Multi Domain

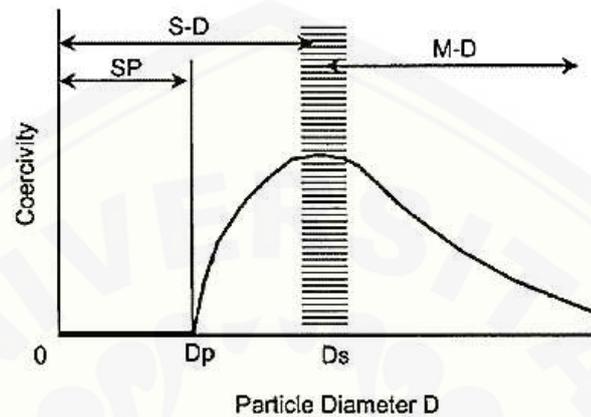
Kutub-kutub bebas pada permukaan *single domain* menghasilkan suatu energi magnetik yang bertambah dengan volume butir. Pada ukuran tertentu, energi tersebut menjadi cukup besar karena medan demagnetisasi yang cenderung memutar magnetisasi dengan cara mengurangi momen magnet total dan memecah magnetisasi menjadi beberapa domain yang dinamakan domain jamak atau *multi domain* (Mahardika, 2018). Pada keadaan ini, energi magnetostatik akan minimum, meskipun semua spin tidak sejajar, namun perubahan arah secara bertahap cukup kecil sehingga pengurangan dari energi magnetostatiknya itu lebih besar dibandingkan kenaikan energi *exchange* (Guimarães, 2009).



Gambar 2.7 Kemungkinan konfigurasi domain magnet saat energi minimum (groundstate) dari partikel magnet bola (spherical magnetic particle), (a) *single-domain*, (b) *two-domain* dan (c) *vortek-state* (Sumber: Widodo, 2013).

2.6 Diamater Kritis

Diameter kritis (D_s) adalah wilayah yang menandai adanya perubahan dari domain tunggal (*single domain*) ke domain jamak (*multi domain*) seperti yang terlihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Skema perubahan nilai koersivitas pada partikel ferromagnetik dengan diameter (Sumber: Rao *et al*, 2007).

Nilai dari diameter kritis D_s umumnya mulai dari 10 nm hingga melebihi 1000 nm. Diameter kritis untuk domain magnet D_s , yang merupakan diameter terbesar yang mungkin dimiliki oleh partikel ferromagnetik. Selbihnya akan memiliki energi yang lebih untuk membagi diri menjadi dua atau lebih domain. Menurut Widodo (2013) diameter kritis *single-domain* dipaparkan oleh Kittel dengan cara membandingkan energi magnetostatik atau energi demagnetostatik selama penciptaan struktur domain. Kemudian, Brown menghitung secara rinci batas ukuran diameter kritis untuk keadaan struktur *single-domain* dengan meninjau energi minimumnya dengan menggunakan persamaan :

$$D_c = 7.211 \times I_{ex} \quad (2.4)$$

Menurut Naturalium (2006) nilai *exchange length* adalah

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{A}{\mu_0 M_s^2}} \quad (2.5)$$

Diameter kritis untuk partikel *single domain* ini dapat ditunjukkan oleh persamaan berikut (Guimaraes, 2009)

$$D_s = \frac{72\sqrt{AK}}{\mu_0 M_s^2} \quad (2.6)$$

Dimana A adalah konstanta *exchange*, K adalah konstanta anisotropi, M_s adalah magnetisasi saturasi, dan $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}^{-1}$ adalah permeabilitas magnet dalam vakum.

2.7 Simulasi Mikromagnetik

Konsep dasar mikromagnetik adalah menggunakan konsep *continuum* yaitu suatu konsep fisika untuk menjelaskan sifat-sifat material feromagnetik pada skala mikro menggunakan pendekatan mekanika klasik, dengan fungsi energi sistem yang bersifat kontinu pada kondisi kesetimbangan. Dengan menggunakan konsep *continuum* memungkinkan untuk perhitungan distribusi magnetisasi pada sampel dengan bentuk acak. Perhitungan berdasarkan prinsip minimalisasi pada fungsi energi sistem, sehingga perubahan magnetisasi dan profil energi dapat ditentukan (Ismail, 2003).

Program simulasi mikromagnetik ini menggunakan metode *Finite Element* (Nmag). Nmag merupakan sebuah program *open source* yang diaplikasikan dalam sistem operasi *Linux*. Program tersebut memiliki skrip *Python* (.py) yang merupakan salah satu input yang berisi parameter-parameter bahan yang akan dieksekusi pada terminal *Linux*. Beberapa keuntungan penting dari Nmag adalah: penggunaan Nmag didasarkan pada metode elemen hingga yang cocok untuk komputasi struktur non- kubus, deskripsi yang ada pada *Python* mempunyai tingkat fleksibilitas yang tinggi, penyimpanan data efisien karena kompresi biner, dan peluang dikembangkannya file .vtk untuk visualisasi yang masih tinggi. Visualisasi dari file .vtk meliputi data magnetisasi dinamis yang diolah menggunakan program Mayavi (Lefter dan Mihai, 2012).

2.8 Dinamika Magnetisasi

Persamaan Landau-Lifshitz (LL) merupakan persamaan yang menjelaskan tentang gerak spin magnet yang digambarkan sebagai gerak rotasi dari momen magnet terhadap arah medan efektif (H_{eff}) pada saat kondisi ekuilibrium (Widodo, 2013). Meskipun awalnya persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG) digunakan untuk menggambarkan dinamika magnetisasi makroskopik, persamaan standar LLG

digunakan dalam mikromagnetik numerik yang menggambarkan dinamika unsur magnetik yang kecil (Evans *et al*, 2013)

Konsep dasar dinamika magnetisasi adalah suatu momen magnet m yang mendapatkan medan eksternal H sehingga menghasilkan torca dengan arah tegak lurus terhadap momen magnet dan medan magnet eksternal. Torca ini mengakibatkan momen magnet melakukan gerak presisi (*precession motion*) di sekitar arah dari medan magnet eksternal yang diberikan. Hubungan antara torca dan perubahan momentum angular terhadap waktu dapat dituliskan sebagai berikut (Widodo, 2013):

$$T = \frac{dL}{dt} = m \times H \quad (2.7)$$

dimana T merupakan torca, L momentum angular, m momen magnet dan H adalah medan eksternal. Momen magnet mempunyai orde atom yang memiliki hubungan dengan momentum angular yang diekspresikan sebagai berikut:

$$m = -\gamma L \quad (2.8)$$

dimana $\gamma = 2,11 \times 10^5 mA^{-1}s^{-1}$ adalah nilai absolut dari gromagnetic rasio untuk sebuah elektron:

$$\gamma = g \frac{|e|}{2m_e c} \quad (2.9)$$

dimana $g \approx 2$ adalah faktor Lande, muatan elektron $e = -1,6 \times 10^{-9} c$ dan masa elektron $m_s = 9,1 \times 10^{-31} c kg$, kecepatan cahaya $c = 3 \times 10^8 ms^{-1}$. Maka untuk persamaan momen magnetik m terhadap waktu dapat ditulis:

$$\frac{dm}{dt} = -\gamma m \times H_{eff} \quad (2.10)$$

dimana diasumsikan untuk momen magnet spin yang bergerak sepanjang elemen volume dV , maka persamaannya dapat dituliskan:

$$\frac{1}{dV} \frac{d\Sigma m}{dt} = -\gamma \frac{d\Sigma m}{dV} \times H_{eff} \quad (2.11)$$

dimana $M = \frac{d\Sigma m}{dV}$, sehingga persamaan di atas berubah menjadi :

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -\gamma M \times H_{eff} \quad (2.12)$$

Menurut Schrelf *et al* (2006) untuk medeskripsikan gerak momen magnetik menuju kesetimbangan maka keberadaan efek redaman perlu diperhitungkan dalam

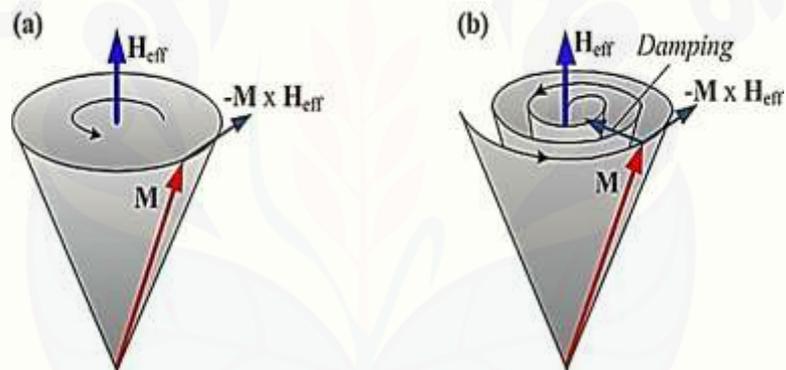
perhitungan medan H_{eff} . Efek redaman ini sebanding dengan kecepatan $\eta \frac{\partial M}{\partial t}$, dengan η adalah konstanta positif. Dengan melibatkan efek redaman

$$\frac{dM}{dt} = -\gamma M \times H_{eff} - \eta \gamma M \times H_{eff} \quad (2.13)$$

Dengan menyatakan $\eta \gamma$ sebagai konstanta redaman Gilbert α , bentuk lain dari persamaan gerak diatas adalah

$$\frac{dM}{dt} = -\gamma M \times H_{eff} - \frac{\alpha}{M_s} M \times (M \times H_{eff}) \quad (2.14)$$

Disini M adalah magnetisasi, M_s adalah magnetisasi saturasi ($M \cdot M = M_s^2$), H_{eff} adalah medan magnet efektif. Persamaan (2.14) ini dikenal sebagai persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert (LLG). Suku pertama pada persamaan (2.14) menyatakan bentuk gerak gyromagnetik dan suku kedua menyatakan bentuk redaman yang menyebabkan momen magnet bergerak kearah medan H .



Gambar 2.9 Gerak presisi dari momen magnet terhadap medan efektif (a) tanpa redaman (b) dengan redaman (damping) (Sumber:mWidodo, 2013).

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah menginvestigasi sifat-sifat magnetik material *alloy* bahan FePt bentuk *nanocube* dan *nanosphere* pada berbagai variasi ukuran. Penelitian ini diawali dengan mengkaji terlebih dahulu penelitian-penelitian sebelumnya dan mengumpulkan referensi dari berbagai sumber yaitu, jurnal, skripsi, dan buku untuk memperoleh informasi mengenai hal-hal yang berkaitan dengan penelitian untuk dibandingkan dengan hasil penelitian yang akan diperoleh.

Langkah selanjutnya adalah mempersiapkan parameter-parameter input, seperti ukuran sisi dan ukuran diameter dengan variasi ukuran. Tahap ini disebut tahap preparasi. Parameter-parameter tersebut diperoleh dari penelitian sebelumnya yang kemudian dimasukkan ke dalam *script* program. Parameter tersebut berupa M_s (magnetisasi saturasi), A (konstanta *exchange*), K (konstanta anisotropi) dan konstanta damping. Selain parameter input yang diatas juga membuat parameter input berupa bentuk dan ukuran geometri (.geo). Kedua file tersebut ditempatkan dalam satu folder, kemudian dilakukan *running* simulasi. Simulasi mikromagnetik ini dijalankan dengan membentuk ukuran kritis pada bagian *single domain*, *multi domain*, dan *transisi* serta menganalisa kurva histerisis pada bahan FePt. Kemudian dari data output yang ada dilakukan analisis, hasil analisis yang didapatkan dapat membuat kesimpulan.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian ini dimulai dari Februari 2019 sampai Agustus 2019. Alat yang digunakan meliputi 1 set perangkat komputer dengan spesifikasi RAM 4GB, *processor* Intel (R) Core (TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz 3.60GHz dan tipe sistem 64 bit. Software yang digunakan antara lain Nmag, Mayavi, dan Origin Pro.

3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis penelitian yang dilakukan adalah simulasi terhadap bahan *alloy* FePt yang dianalisis struktur domain dan kurva histerisisnya. Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data kuantitatif dari hasil analisis struktur domain berupa diameter kritis untuk memperoleh diameter struktur *single domain* dan *multi domain* dan analisis kurva histerisis untuk memperoleh data pengaruh variasi. Sumber data *input* yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari penelitian yang pernah dilakukan oleh Naturalium (2006). Data yang digunakan diperoleh dari hasil penelitian yang sudah ada sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter material *alloy* Fe50Pt50 untuk input data simulasi mikromagnetik

Bahan <i>alloy</i>	M_s (A/m)	K (J/m)	A (J/m ³)	I_{ex} (nm)
Lapisan tipis FePt	1.4×10^6	6.6×10^5	S	2

Sumber: Naturalium (2006).

3.3 Definisi Operasional Variabel

Pada penelitian ini variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel terikat:

3.3.1 Variabel Bebas

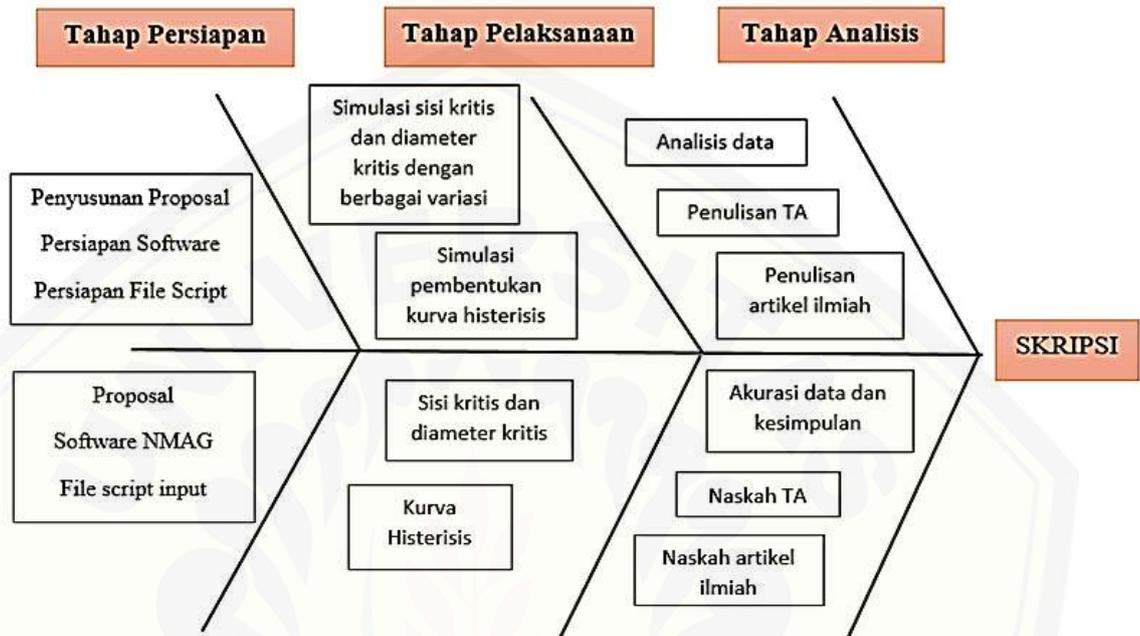
Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah besarnya ukuran sisi kubus dan ukuran diameter bola pada bahan FePt. Variabel bebas ini dapat mempengaruhi atau menyebabkan timbulnya variabel terikat.

3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikatnya adalah struktur domain yang meliputi struktur *single domain*, struktur *multi domain*, transisi, medan koersivitas dalam kurva histerisis, grafik energi total, energi demagnetisasi, dan energi *exchange*.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

Penelitian yang dilakukan secara umum di Gambarkan dalam bentuk diagram *fishbone* yang di tunjukkan pada Gambar 3.1

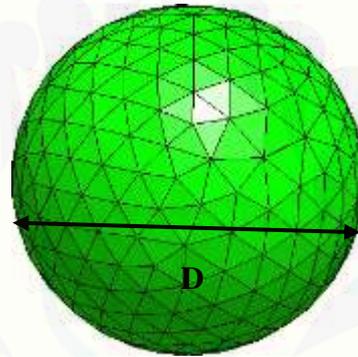


Gambar 3.1 Diagram *fishbone* prosedur penelitian

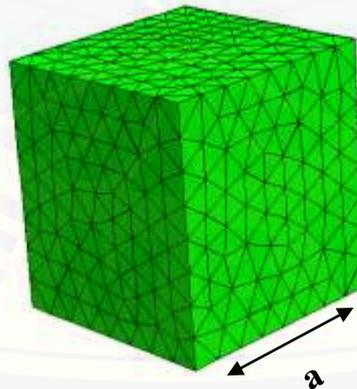
3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan menggunakan software berlisensi public yaitu Nmag (*Nano Magnetic*) yang dapat dijalankan pada sistem operasi GNU/Linux. Software lainnya adalah MayaVi dan Origin Pro yang digunakan untuk visualisasi setiap simulasi yang digunakan. Penelitian ini melalui beberapa tahapan atau langkah yang dapat dilakukan, yakni yang pertama dengan menginstall software (program Nmag, software MayaVi dan software Origin) yang akan digunakan untuk *running* dan mempersiapkan parameter-parameter untuk bahan FePt yang akan dimasukkan ke dalam *script*. Parameter-parameter bahan *alloy* FePt yang digunakan seperti pada tabel 3.1 yaitu Ms (Magnetisasi saturasi), K (Konstanta anisotropi), A (Konstanta *exchange*) dan konstanta damping. Parameter-parameter di dalam *script* berupa file (.py) selanjutnya untuk data input meliputi file (.geo) yaitu berisi ukuran sisi *nanocube*, *nanosphere* dan nilai *maxh*. Tahap selanjutnya ialah *running* tersebut

berupa data numerik yang terdiri dari file (.vtk) dan (.ndt) yang digunakan pada tahap visualisasi. Visualisasi gambar dari geometri bahan dapat dilihat pada gambar 3.3 dan gambar 3.4. untuk membuat geometri tersebut dilakukan dengan menggunakan software MayaVi melalui file (.vtk). setelah memasukkan file (.vtk) akan terbentuk visualisasi yang diinginkan. langkah berikutnya ialah pembuatan grafik dengan file (.ndt) menggunakan software Origin untuk masing-masing parameter yang telah divariasikan. Hasil dari visualisasi gambar dan kurva histerisis tersebut nantinya akan dianalisis dan melalui proses interpretasi hasil. Setelah dilakukan analisis maka akan diperoleh suatu kesimpulan yang akan menjadi indikasi bahwasannya penelitian ini telah selesai dilakukan.



Gambar 3.2 Desain geometri bentuk bola



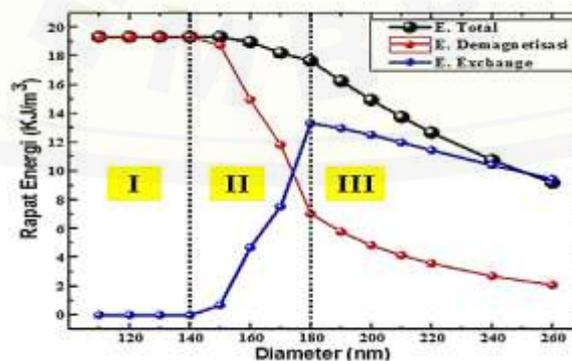
Gambar 3.3 Desain geometri bentuk kubus

3.6 Metode Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian simulasi mikromagnetik pada bahan FePt antara lain:

3.6.1 Analisis Penentuan Ukuran Kritis Bahan FePt

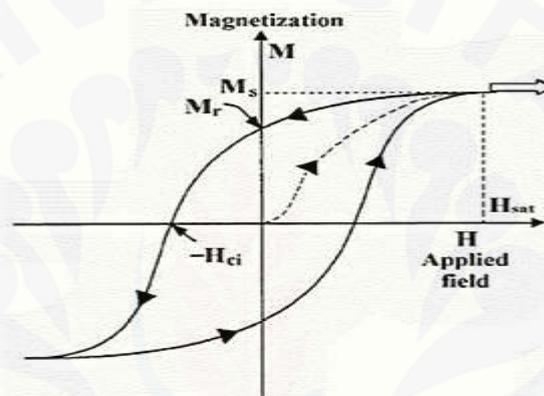
Penelitian ini menganalisis penentuan ukuran kritis yang terjadi pada bentuk kubus dan bola, pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penentuan diameter kritis pada bentuk bola yang dilakukan oleh Lutviana tahun 2018. Penelitian ini menghasilkan struktur domain dengan bervariasi nilai diameter. Simulasi ini dilakukan untuk bentuk kubus dan bola dengan menggunakan 10 ukuran sisi dan 10 ukuran diameter. 10 ukuran sisi tersebut yaitu meliputi 8 nm, 10 nm, 11 nm, 12 nm, 14 nm, 16 nm, 18 nm, 20 nm, 22 nm, dan 24 nm. Sedangkan untuk ukuran diameter yaitu 10 nm, 12 nm, 14 nm, 15 nm, 16 nm, 18 nm, 20 nm, 22 nm, 24 nm, dan 26 nm. Analisa penentuan ukuran kritis bahan FePt untuk bentuk kubus didapatkan berdasarkan dari grafik hubungan rapat energi dengan ukuran sisi, sedangkan bentuk bola di dapatkan berdasarkan grafik hubungan antara rapat energi dengan diameter. Setelah mendapatkan grafik tersebut selanjutnya menganalisa tiga daerah yaitu *single domain*, *multi domain* dan *transisi*. Pada penelitian ini digunakan bentuk geometri berupa kubus dan bola. Sampai saat ini, belum ada rumusan yang mendasari penentuan ukuran kritis pada bentuk ini. Oleh sebab itu penelitian ini mengacu pada hasil 3 energi yaitu energi total, energi *exchange* dan energi demagnetisasi. Analisa ini sesuai dengan keadaan struktur domain yang dihasilkan.



Gambar 3.4 Grafik pengaruh variasi diameter terhadap rapat energi (Sumber: Nagara, 2016).

3.6.2 Analisa sifat magnetik bahan FePt berdasarkan kurva histerisis

Simulasi mikromagnetik dilakukan dengan menggunakan parameter bahan *alloy* pada tabel 3.1. Hal tersebut dilakukan guna melihat sifat magnetik bahan dengan menggunakan kurva histerisis dimana menggunakan program Origin Pro. Program Origin Pro ini merupakan program untuk menentukan kurva histerisis dengan file *running* berupa (.ndt). analisa tersebut untuk mengetahui medan koersivitas yang dapat mengetahui magnet dapat bersifat hard magnet atau *soft* magnet. Bentuk bahan yang dianalisis pada kurva histerisis ini adalah bentuk *nanocube* dan *nanosphere* dengan variasi ukuran.



Gambar 3.5 Kurva histerisis bahan Feromagnetik (Sumber : Yani *et al*, 2014)

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian mengenai sifat-sifat magnetik material *alloy* bahan FePt bentuk *nanocube* dan *nanosphere* pada berbagai variasi ukuran adalah

1. Besarnya ukuran sisi kritis bahan *alloy* FePt berbentuk *cube* adalah antara 11 nm – 12 nm. Struktur *single* domain terletak pada sisi kritis 8 nm - 10 nm sedangkan struktur *multi* domain terletak pada 14 nm – 24 nm. Untuk bentuk *sphere* diameter kritis bahan *alloy* FePt terletak pada 13 nm - 14 nm. Struktur *single* domain terletak pada diameter 10 nm – 12 nm dan struktur *multi* domain terletak pada diameter 15 nm – 26 nm. Hal ini diperkuat oleh adanya profil rapat energi yang ada dimana energi total, energi *exchange* dan energi demagnetisasi yang mengalami perubahan seiring bertambahnya ukuran sisi dan ukuran diameter.
2. Medan koersivitas bahan FePt bentuk *cube* pada struktur *single* domain diperoleh nilai $1,884 \times 10^{-6}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,244 \times 10^{-6}T$, untuk transisi nilai medan koersivitas $2,0106 \times 10^{-6}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,244 \times 10^{-6}T$, sedangkan pada struktur *multi* domain medan koersivitas diperoleh $2,513 \times 10^{-6}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,231 \times 10^{-6}T$. Ketiga struktur domain pada bentuk *cube* tersebut mengindikasikan bahwa bahan bersifat *soft* magnet.
3. Untuk bahan FePt bentuk *sphere* nilai medan koersivitas pada struktur *single* domain diperoleh nilai $2,010 \times 10^{-6}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,231 \times 10^{-6}T$, untuk transisi nilai medan koersivitas $3,7699 \times 10^{-7}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,244 \times 10^{-6}T$, sedangkan pada struktur *multi* domain nilai medan koersivitas sebesar $1,382 \times 10^{-6}T$ dengan medan saturasi sebesar $1,244 \times 10^{-6}T$. Ketiga struktur domain pada bentuk *sphere* tersebut mengindikasikan bahwa bahan bersifat *soft* magnet.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui nilai ukuran kritis, karakteristik kurva histerisis dan juga struktur domain dari material FePt bentuk *nanocube* dan *nanosphere* dengan menggunakan simulasi mikromagnetik. Namun ada beberapa hal yang masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, diantaranya dengan melakukan penentuan nilai ukuran kritis dengan menggunakan banyak referensi parameter agar lebih akurat saat divisualisasikan di dalam grafik hubungan rapat energi. Variasi ukuran yang digunakan diharapkan menggunakan persamaan yang sesuai dan mencari referensi yang lebih tepat supaya sesuai ketika divisualisasikan bentuk struktur bahan.

DAFTAR PUSTAKA

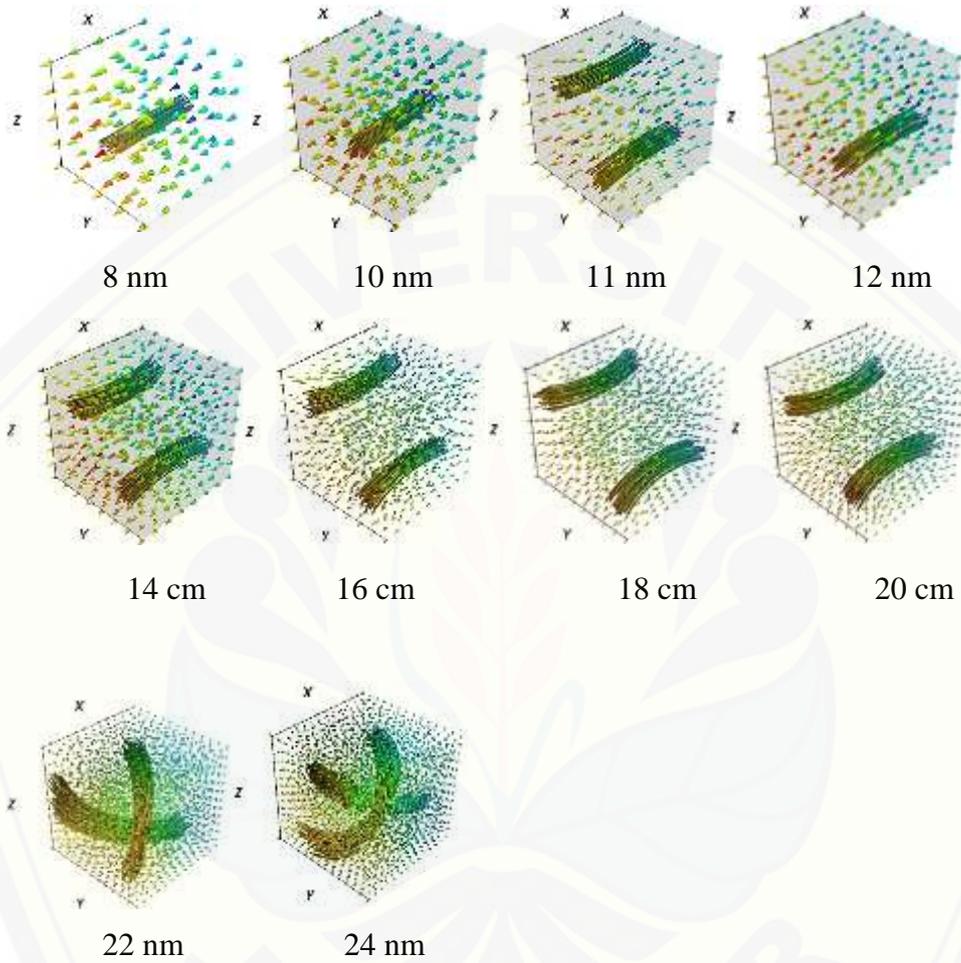
- Alvarez, G. S. 2008. Cubic versus spherical magnetic nanoparticles: the role of surface anisotropy. *J. Am. Chem. Soc.* 130(40).
- Callister, W. D. dan Rethwisch, D. G. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction*. Eighth Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Chaudhary, R., dan A. Kansal. 2015. A perspective on the future of the magnetic hard disk drive (HDD) technology. *International Journal of Technical Researc and Applications*. 3(3): 63-74.
- Evans, R. F. L. 2008. Atomistic Modeling of Nanogranular Magnetic Materials. *Tesis*. England: Universitas of York.
- Evans, R. F. L., W. J. Fan, P. Chuureemart, T. A. Ostler, M. O. A. Ellis, dan R. W. Chantrell. 2013. Atomistic Spin Model Simulations of Magnetic Nanomaterials. *Jurnal of Physics : Condens Matter*. 26 (10) 103202.
- Guimaraes, A.P. 2009. *Principles of Nanomagnetism*. Rio de Janeiro: Springer.
- Halliday, D. Dan Resnick, R. 1978. *Fisika 2*. Edisi Ketiga. Diterjemahkan oleh: Silaban, P. Dan Sucipto, E. Surabaya: Penerbit Erlangga.
- Herde, H. 2013. *PhaseTransitions in Iron-Platinum*. Los Angeles: University of California.
- Ismail. 2013. Studi Mikromagnetik Proses Magnetisasi dan Spektrum Suseptibilitas Ferromagnetik Elemen Diamond-Spaped. *Tesis*. Depok: Universitas Indonesia.
- Lacovacci, V., G. Lucarini, L. Ricotti, dan A. Menciassi. 2016. *Magnetic Field Based Technologies For Lab-On-a-Chip Application*. Italy : intech.
- Lefter dan Mihai Dimian. 2012. *Micromagnetic analysis of magnetization behavior in Permalloy nanoparticles for data storage applications*. Suceava: Stefan cel Mare University.
- Lutviana. 2018. Investigasi struktur domain dan pengaruh penerapan Microwave Assisted terhadap bahan *alloy* FePt menggunakan simulasi mikromagnetik. *Skripsi*. Jember : Fisika FMIPA Universitas Jember.

- Mahardika, P. 2008. Kajian Sifat Magnetik Magnetit (Fe_3O_4) Hasil Penumbuhan Dengan Metode Presipitasi Berbahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Bandung: Fisika, FMIPA, ITB.
- Mangonon, P.L. 1999. *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*. USA: Pretice Hall.
- Mardona. 2012. Dinamika Domain Wall dan Efek Anisotropi pada Material Feromagnet Co dan Ni Berbentuk Nanowire. *Tesis*. Jakarta: Universitas Jakarta.
- Muhammady, S., Suharyana, dan B. Purnama. 2012. Kajian Simulasi Mikromagnetik Ketergantungan Tipe-nukleasi Magnetisasi Reversal terhadap Waktu pada Nano Dot Permalloy. *Indonesia Journal of Applied Physics* 2 (2): 164. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. ISSN: 2089-0133.
- Myung, N. V., D. Y. Park, M. Schwartz, K. Nobe, H. Yang, C. K. Yang, dan J. W. Judy. 2000. Electrodeposited Hard Magnetic Thin Films for MEMS Applications. *Jurnal Sixth International Symposium on Magnetic Materials, Processes and Devices, Proc. Electrochem. Soc.* 29: 506, ISBN: 1-56677-296- 6.
- Nagara, B. 2016. Investigasi Sifat-Sifat Magnetik Bahan CoPd dan Pengaruh Penerapan Microwave Assisted Menggunakan Simulasi Mikromagnetik. *Skripsi*. Jember : Fisika FMIPA Universitas Jember.
- Naturalium, Rerum. 2006. Nanocrystalline Fe-Pt alloys : phase Transformations, Structure an Magntetism. *Disertasi*. Russland : Magister der Physik Julia Vladimirovna Lyubina.
- Nursiyanto, W., B. Soegijono, dan E. Djatmoko. 2015. Pengaruh Bentuk Notch terhadap Kurva Histerisis Bahan Feromagnetik Nanowire. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SFN 2015-VI-I*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Puri, R.K., dan V. K. Babbar. 2001. *Solid State Physics & Electronics*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.
- Purnama B., Prihanto H.S.B.R., Artono D.S., Suharyana. 2013. Karakteristik Magnetik Lapisan Tipis Ni-Fe Sebagai *Flat Core Flux Gate Sensor*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 9 (2013) 191-196.
- Rao, C., P. Thomas, dan J. Kulkarni. 2007. *Nanocrytals: Synthesis, Properties and Application*. New York: Springer.

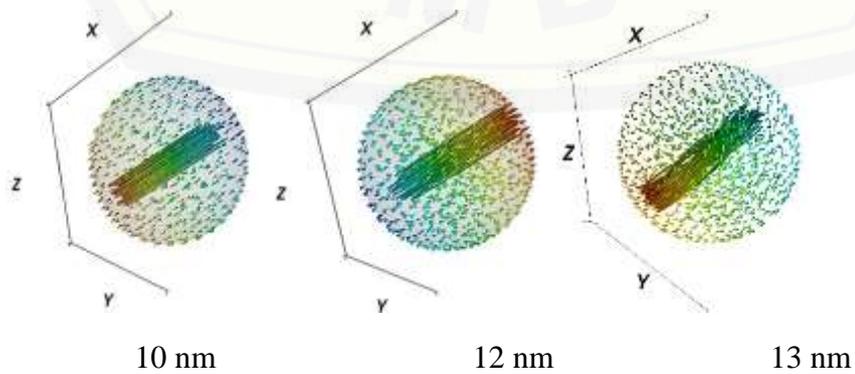
- Robertson, L. 2010. *Magnetic Data Storage with Patterned Media*. Hitachi Global Storage Technologies San Jose Research Center.
- Rohman, Lutfi. 2013. Investigasi sifat-sifat magnetik bahan LSMO ($\text{La}_{1-x}\text{S}_x\text{MnO}_3$) untuk aplikasi Storage Device Dengan Menggunakan Modeling Mikromagnetik. *Disertasi*. Jember: Universitas Jember.
- Schrefl, T., W Scholz, J. Fidler, dan D Suess. 1999. *Micromagnetic Simulation and Application*. Austria : Viena University of Technology.
- Sharif, R. S., Shamaila, M. Ma, L. D. Yao, R. C. Yu, X. F. Han, Yong Wang, M. Khaleeq-ur-Rahman. 2007. Magnetic and microstructural characterizations of CoFe and CoFeB nanowires. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 320 (2008) 1512–151.
- Smith, W.F. 1993. *Foundation of Materials of Science and Engineering*. USA: Prentice Hall.
- Tipler, Paul A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Tjia, M. 1987. *Materi Pokok Fisika Zat Padat*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Triyanto, Y. 2004. Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas di Kodya Surakarta Menggunakan Bartington MS2 Sebagai Indikator Pendekatan Sebaran Logam. Surakarta : Universitas Sebelas Maret.
- Wahyudi, E Nur. 2005. *Mengenal Hard Disk Lebih Dekat*. Semarang : Universitas Stikubank.
- Widodo, T. A. 2013. Studi Mikromagnetik Dinamika Struktur Domain pada Material Feromagnetik Py, Ni, Fe, dan Co Model *Nanosphere*. Tesis. Depok: Universitas Indonesia.
- Yani, A., Ridwan dan Mujamilah. 2014. Simulasi Histerisis Pada Bahan Feromagnetik Dengan Model JILES-ATHERTON. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN: 1411-1098: 85-90.

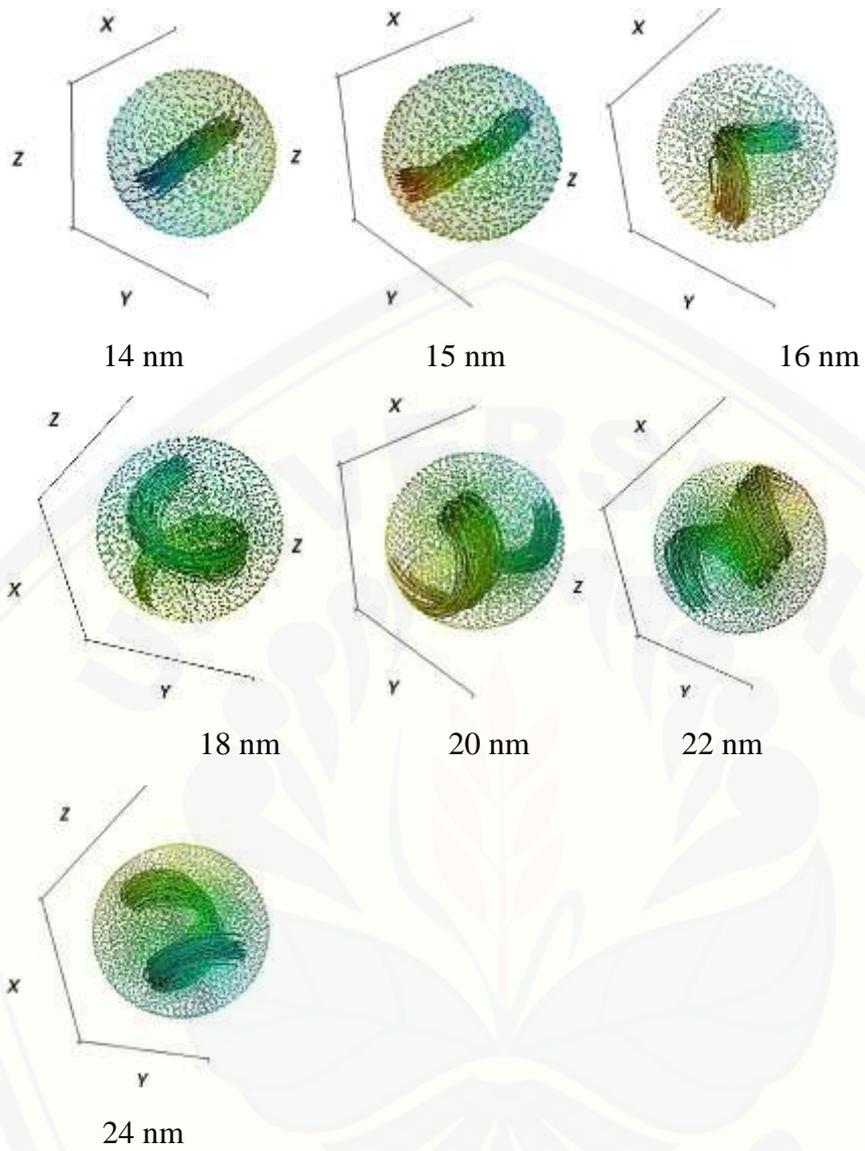
LAMPIRAN

a. Visualisasi bentuk *Nanocube*



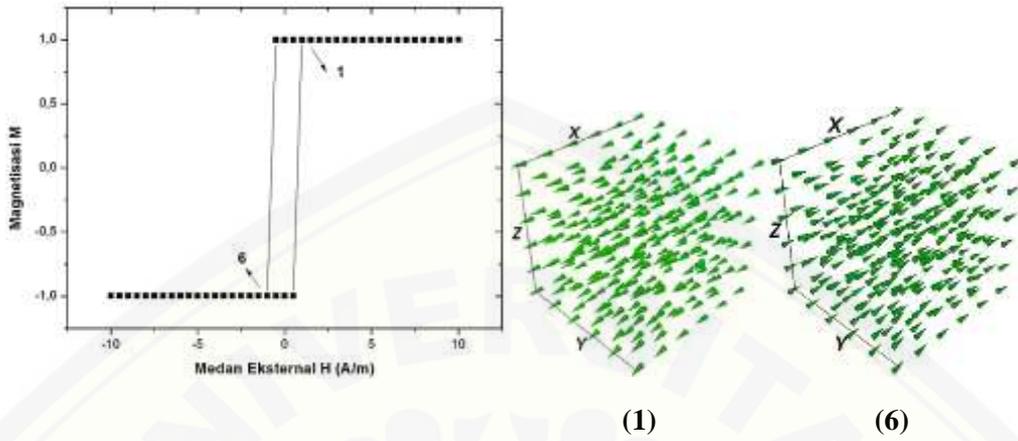
b. Visualisasi bentuk *Nanosphere*



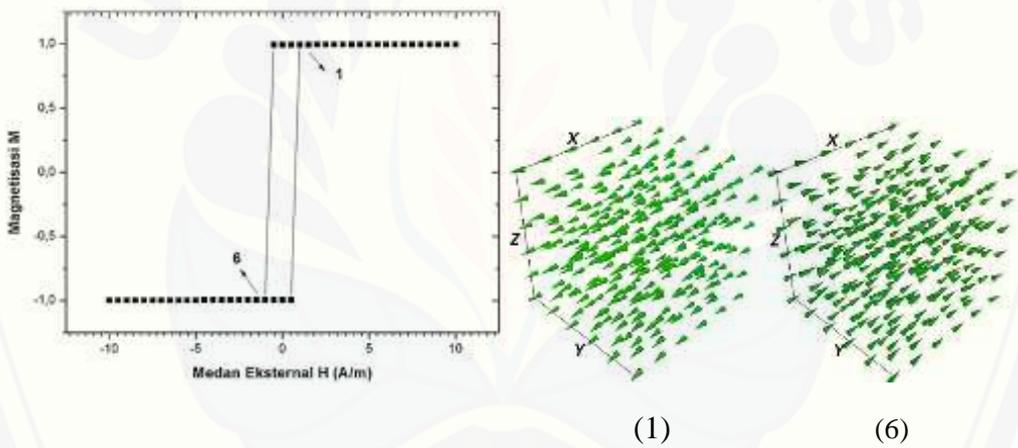


c. Kurva Histerisis Material FePt bentuk *Nanocube*

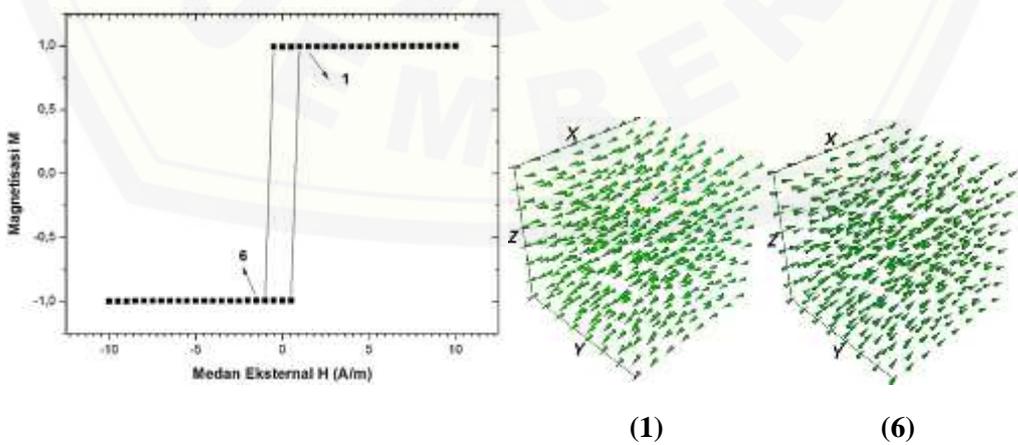
1. Ukuran Sisi 10 nm



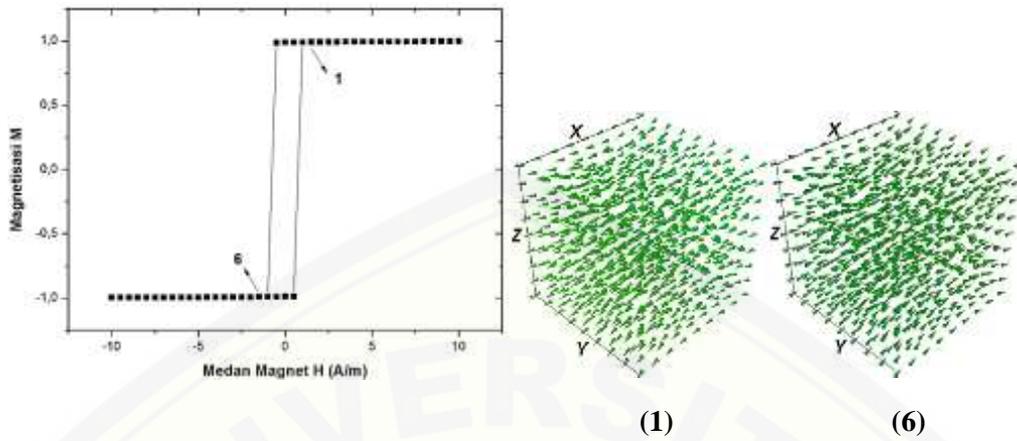
2. Ukuran Sisi 12 nm



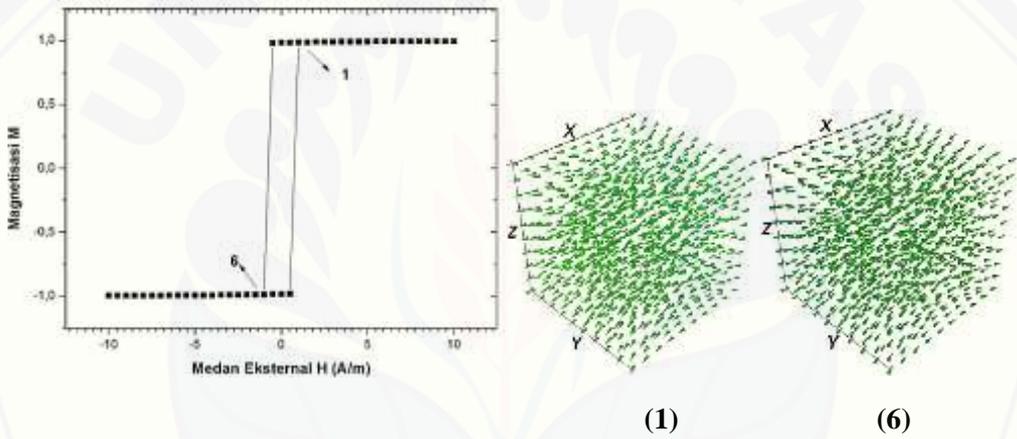
3. Ukuran Sisi 14 nm



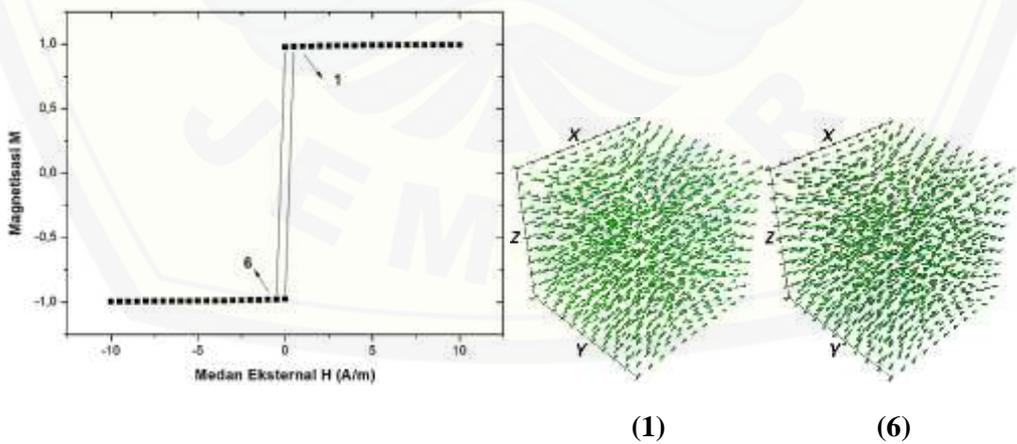
4. Ukuran Sisi 16 nm



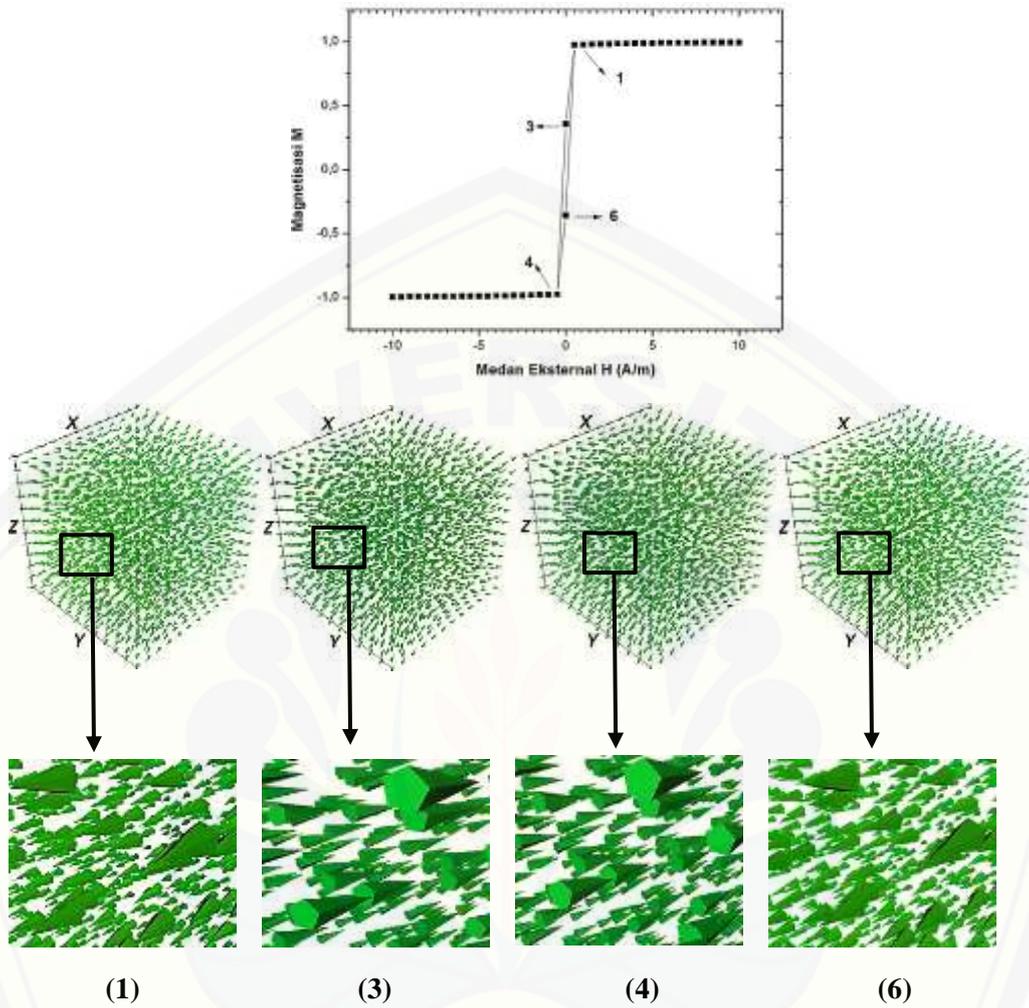
5. Ukuran Sisi 18 nm



6. Ukuran Sisi 20 nm

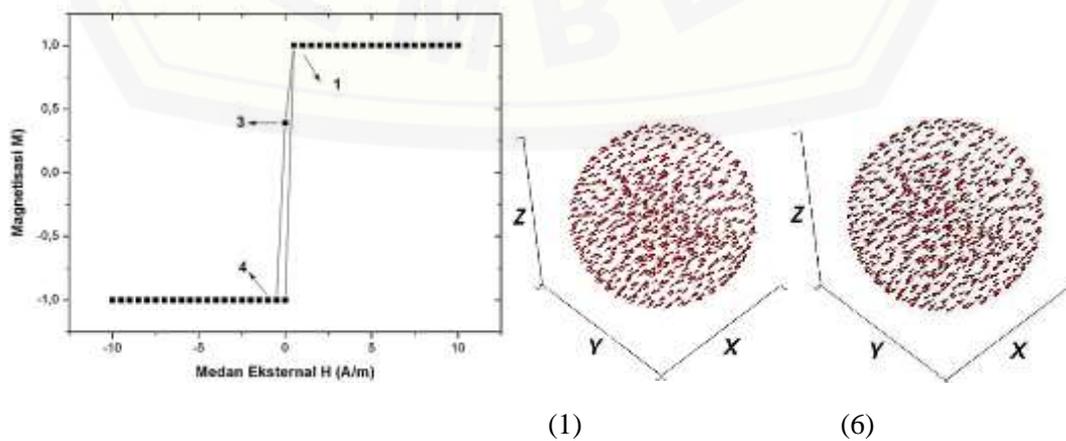


7. Ukuran Sisi 22 nm

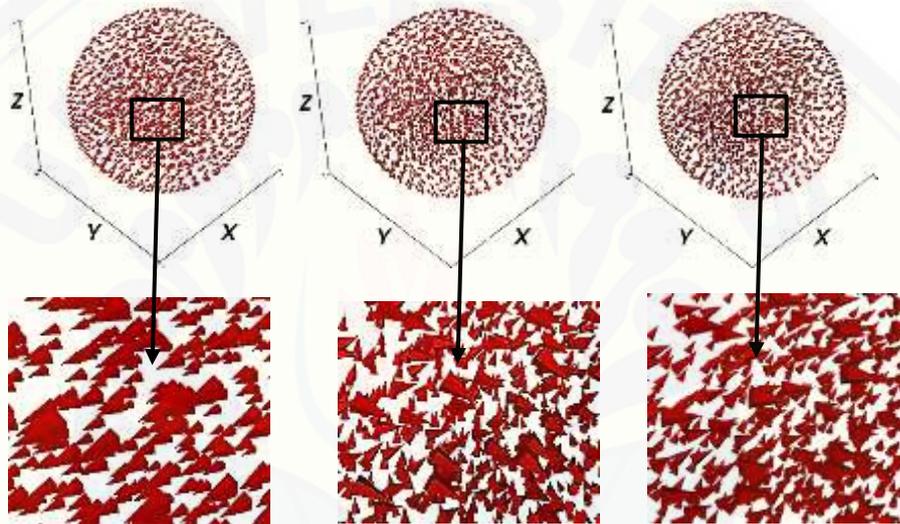
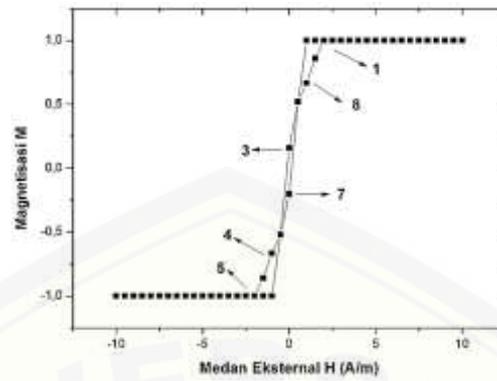


d. Kurva Histerisis Material FePt bentuk *nanosphere*

1. Ukuran Diameter 12 nm



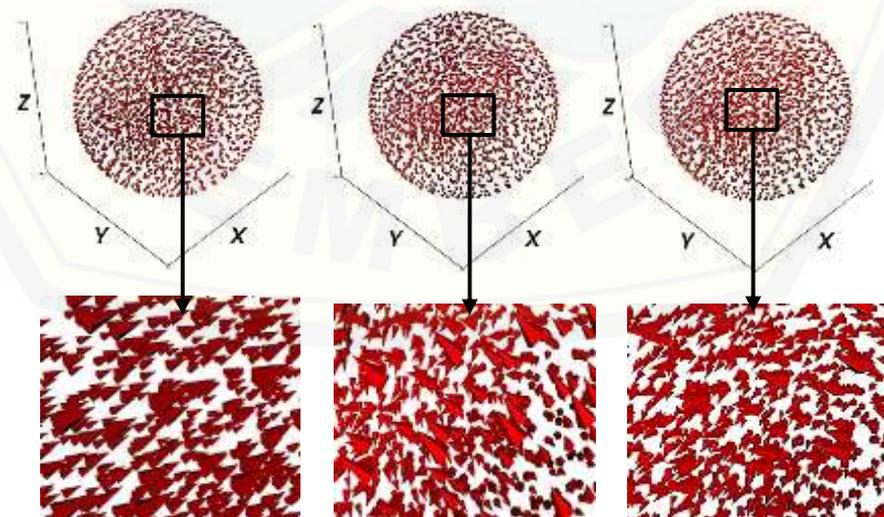
2. Ukuran Diameter 15 nm



(1)

(3)

(4)

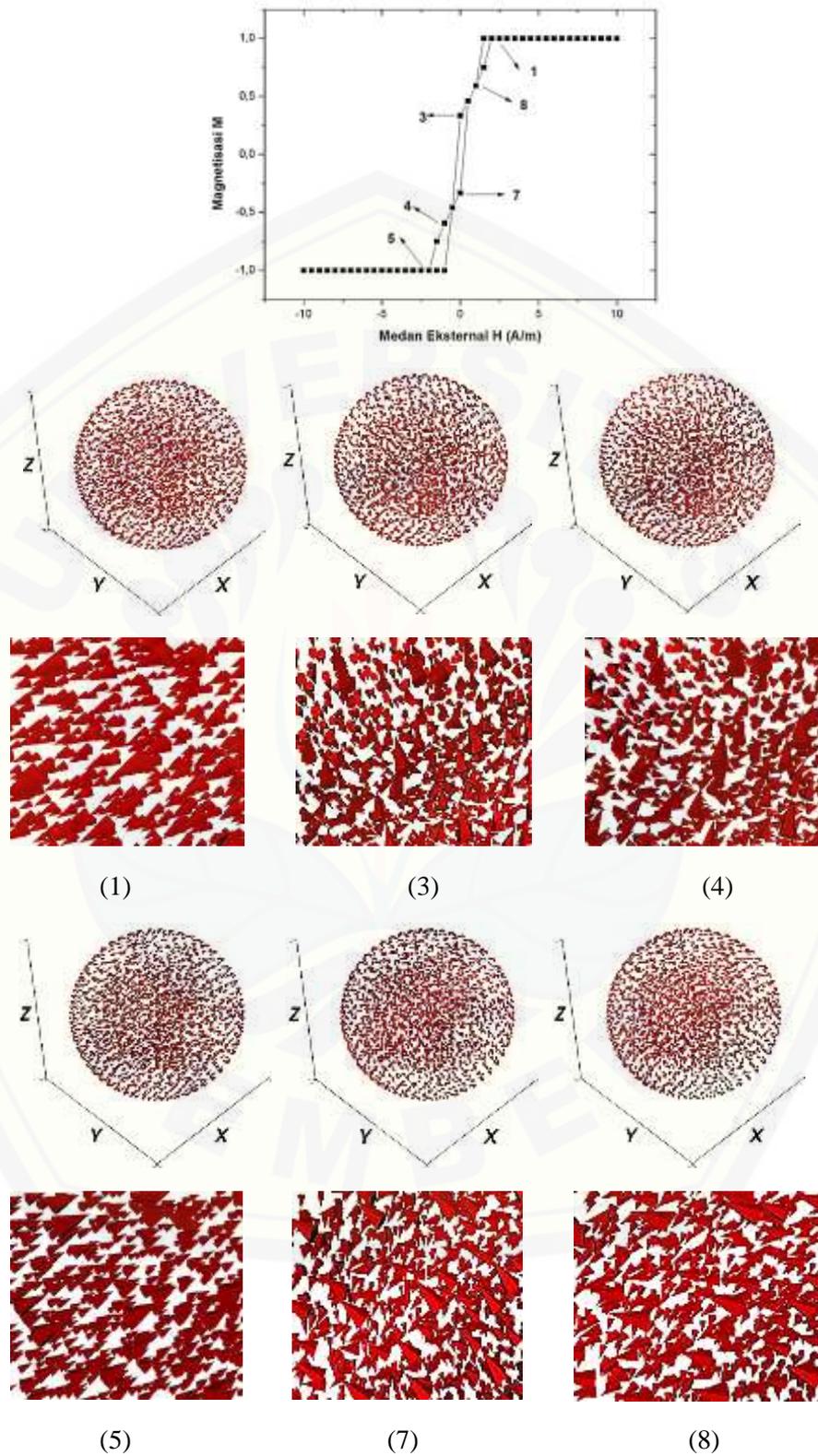


(5)

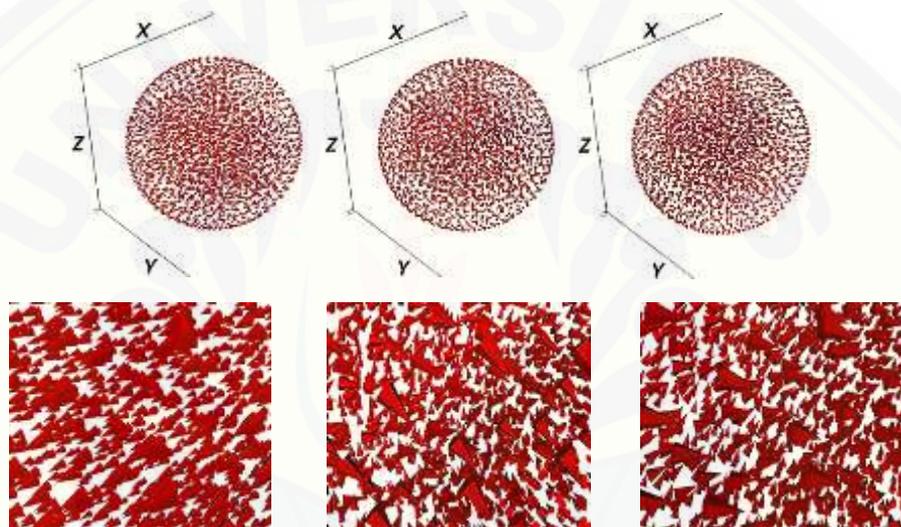
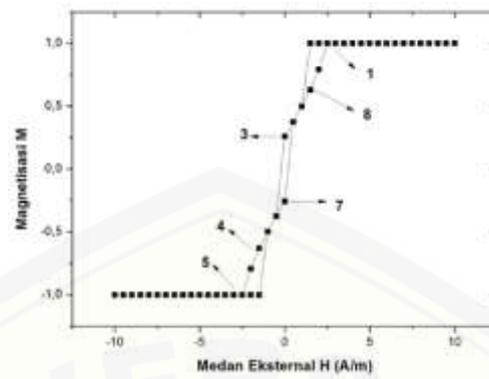
(7)

(8)

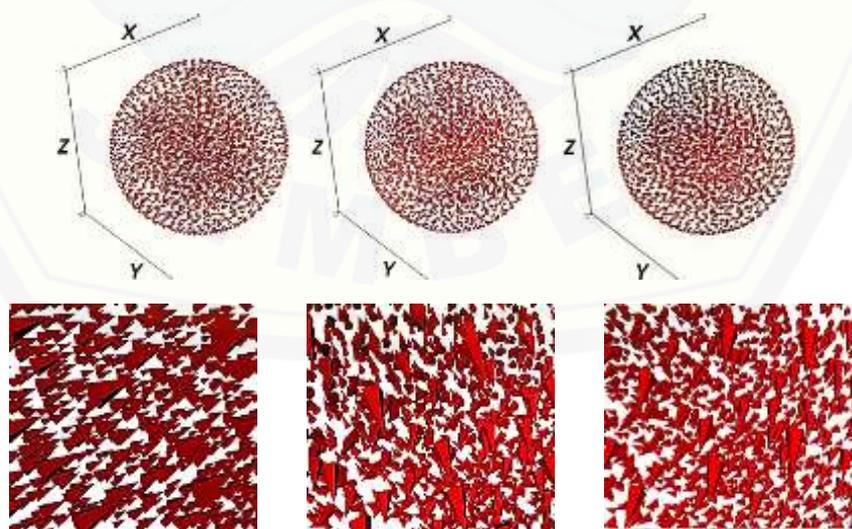
3. Ukuran Diameter 16 nm



4. Ukuran Diameter 18 nm

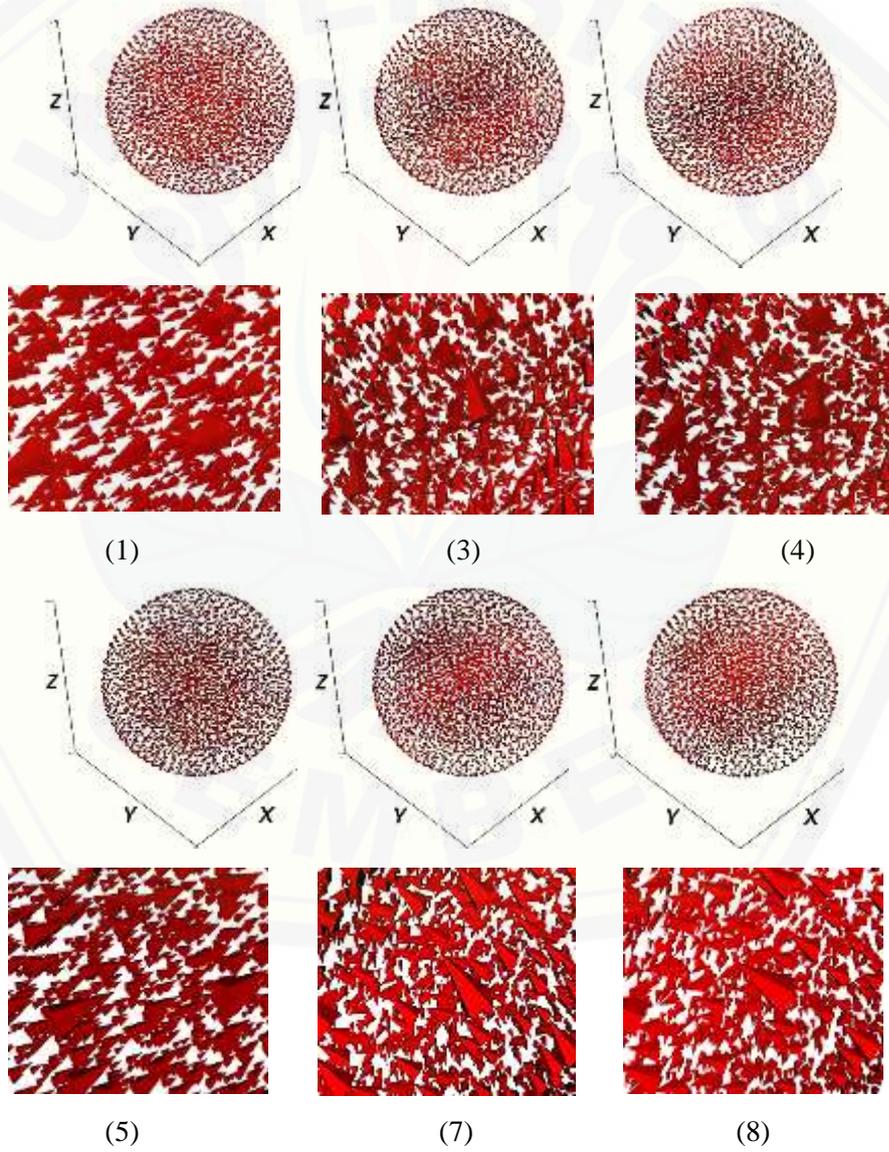
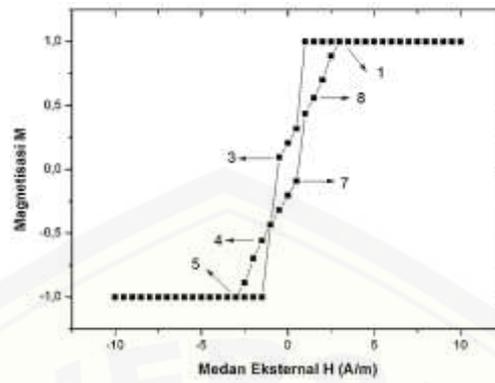


(1) (3) (4)

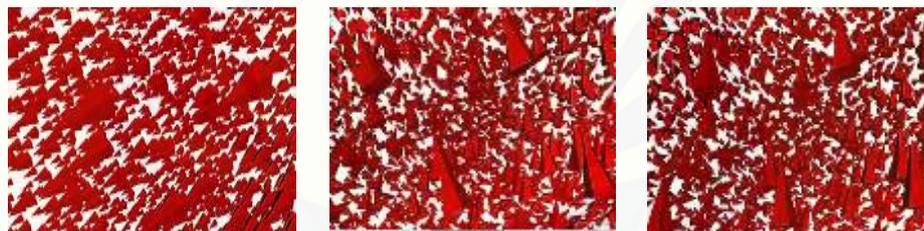
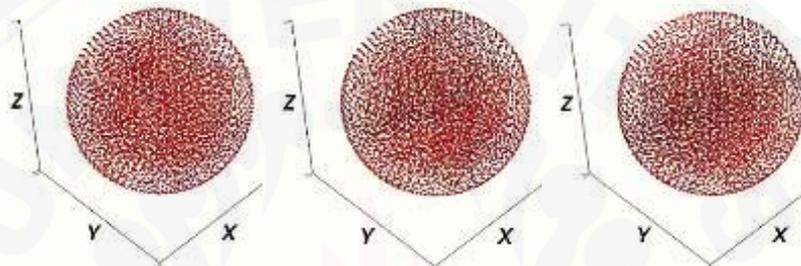
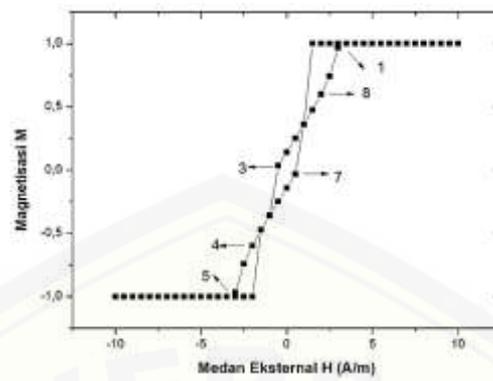


(5) (7) (8)

5. Ukuran Diameter 20 nm



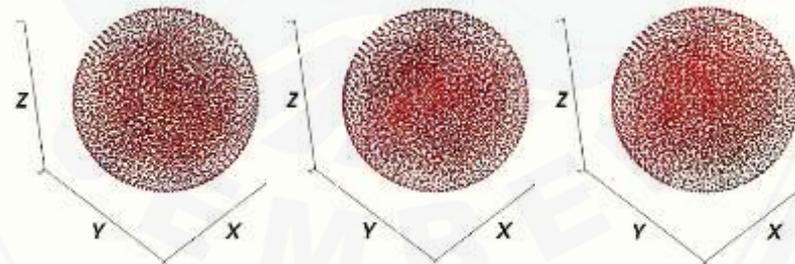
6. Ukuran Diameter 22 nm



(1)

(3)

(4)



(5)

(7)

(8)

7. Ukuran Diameter 24 nm

