



**IDENTIFIKASI STRUKTUR DOMAIN MAGNETIK DAN PENGARUH  
*MICROWAVE ASSISTED* TERHADAP KURVA HISTERESIS BAHAN NiFe  
MENGUNAKAN SIMULASI MIKROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

Oleh

**Edy Wahono  
NIM 151810201015**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**IDENTIFIKASI STRUKTUR DOMAIN MAGNETIK DAN PENGARUH  
*MICROWAVE ASSISTED* TERHADAP KURVA HISTERESIS BAHAN NiFe  
MENGUNAKAN SIMULASI MIKROMAGNETIK**

**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

**Edy Wahono  
NIM 151810201015**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan dengan penuh rasa kasih sayang, syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya untuk:

1. Bapak Jumali dan Ibu Wahyuni atas segala do'a yang selalu dipanjatkan, motivasi, nasehat, kasih sayang serta pengorbanan yang tak terbatas selama ini.
2. Adik-adiku Edo Septianto dan Aulia Almar'atus S. yang menjadi penyemangat selama ini dan menjadi motivasi yang berharga, serta seluruh keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang membantu selama ini.
3. Pahlawan tanpa tanda jasa guru-guru TK Dharma Wanita, SDN 2 Alasmalang, SMPN 3 Rogojampi, dan SMA Darussalam yang telah memberi ilmu yang bermanfaat bagi saya selama ini, serta dosen-dosen pengajar Jurusan Fisika yang telah memberi ilmu dan membimbing saya selama studi.
4. Guru ngaji TPQ Nurul Iman dan Ustadz Ponpes Darussalam yang selalu mendoakan saya selama ini dan mengarahkan jalan yang baik.
5. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Jember.

Terimakasih saya ucapkan, hanya dengan sebuah karya tulis kecil dan untaian kata-kata yang dapat saya persembahkan untuk semuanya. Semoga yang telah diberikan akan selalu menjadi amal terbaik nantinya. Atas segala kekurangan saya, sudihlah kiranya untuk mencurahkan rasa maaf. Demikian skripsi ini saya persembahkan.

**MOTTO**

“Undur maa qoola wala tandur man qoola”

Lihatlah apa yang dikatakan jangan melihat siapa yang mengatakan

(Ali bin Abi Thalib)\*



---

\*) <https://abusalma.net> diakses pada tanggal 08 agustus 2019

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Edy Wahono

NIM : 151810201015

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Identifikasi Struktur Domain Magnetik dan Pengaruh *Microwave Assisted* Terhadap Kurva Histerisis Bahan Nife Menggunakan Simulasi Mikromagnetik” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, 21 Oktober 2019

Yang menyatakan

Edy Wahono

NIM 151810201015

**SKRIPSI**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR DOMAIN MAGNETIK DAN PENGARUH  
*MICROWAVE ASSISTED* TERHADAP KURVA HISTERISIS BAHAN NiFe  
MENGUNAKAN SIMULASI MIKROMAGNETIK**

Oleh

Edy Wahono  
NIM 151810201015

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Artoto Arkundato, S.Si, M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Identifikasi Struktur Domain Magnetik Dan Pengaruh *Microwave Assisted* Terhadap Kurva Histerisis Bahan NiFe Menggunakan Simulasi Mikromagnetik” telah diuji dan disahkan secara akademis pada:

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas  
Jember

**Tim Penguji**

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.  
NIP 197208021998021001

Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si.  
NIP 196912251999031001

Penguji I

Penguji II

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si.  
NIP 197301152000031001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Identifikasi Struktur Domain Magnetik Dan Pengaruh *Microwave Assisted* Terhadap Kurva Histerisis Bahan NiFe Menggunakan Simulasi Mikromagnetik;** Edy Wahono, 151810201015; 2019: 62 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Bahan *alloy* NiFe merupakan salah satu bahan feromagnetik yang memiliki tekstur kuat dengan nilai anisotropi magnetik dan medan koersivitas besar. Sifat yang dimiliki bahan ini dapat dipola dengan ukuran yang sangat kecil, sehingga dapat diaplikasikan sebagai media penyimpanan dan perekam magnetik dengan kerapatan yang tinggi. Media perekam magnetik ini sangat berhubungan dengan sistem penyimpanan data pada *Hard Disk Drive* (HDD) dalam melakukan penyimpanan maupun pembacaan data.

Penelitian yang digunakan yaitu bahan NiFe bentuk *ellipsoid* dengan aplikasi simulasi mikromagnetik OOMMF di *windows*. Simulasi tersebut berdasarkan dengan faktor redaman  $a = 0,05$  dan konstanta anisotropi. Penelitian dibagi menjadi 2 langkah kerja. Langkah pertama, penelitian dilakukan pada ukuran diameter panjang (10-100) nm dan menggunakan diameter pendek (10-50) nm, kemudian diamati struktur domain dan energi sistem dalam kondisi tanpa adanya pengaruh *microwave assisted*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa terjadi perubahan struktur domain dari *single domain* menjadi *multi domain* yang dibatasi oleh titik diameter kritis atau pada kondisi transisi. Hasil ini diperkuat dengan adanya profil rapat energi sistem pada bahan NiFe dimana titik bawah diameter kritis atau transisi didominasi oleh energi demagnetisasi, selanjutnya titik di atas diameter kritis didominasi oleh energi *exchange*. Berdasarkan simulasi yang dilakukan diperoleh bahwa titik diameter kritis bahan NiFe berada pada ukuran diameter 40 nm. Nilai ini sama dengan perhitungan persamaan Brown sebesar 40,3816 nm pada bentuk *ellipsoid* bahan NiFe.

Langkah kedua dari penelitian, mengamati pengaruh *microwave assisted* terhadap besar medan koersivitas dalam kurva histerisis bahan NiFe. Hasil yang

diperoleh yaitu semakin besar nilai amplitudo dan frekuensi yang digunakan, maka akan dihasilkan nilai medan koersivitas yang semakin kecil. Pengaruh *microwave assisted* membantu untuk mengecilkan medan koersivitas sehingga mengalami pembalikan magnetisasi semakin cepat untuk kembali pada posisi awal. Contoh hasil simulasi pada ukuran (10x10x20) nm dengan memberikan frekuensi 20 dan 200 dalam satuan GHz serta amplitudo sebesar 100 dan 1000 dalam satuan mT. Hasil pada pengaruh frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT diperoleh medan koersivitas sebesar 507 mT sedangkan pada frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT diperoleh medan koersivitas sebesar 385 mT. Pengaruh dari *microwave assisted* berlaku pada semua ukuran yang dipengaruhi terjadi perubahan medan koersivitas yang semakin kecil. Hal ini diperkuat adanya grafik hubungan pengaruh frekuensi dan amplitudo terhadap ukuran bahan NiFe yang semakin menurun. Pengaruh *microwave assisted* cenderung lebih cepat mengalami pembalikan magnetisasi dengan rentang medan eksternal yang lebih kecil daripada tanpa adanya *microwave assisted*. Hasil ini diperkuat dengan energi sistem, dimana nilai energi sistem yang dihasilkan berbeda ketika tanpa adanya pengaruh *microwave assisted*.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. karena atas berkat, rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Identifikasi Struktur Domain Magnetik Dan Pengaruh *Microwave Assisted* Terhadap Kurva Histerisis Bahan NiFe Menggunakan Simulasi Mikromagnetik". Sholawat dan salam semoga senantiasa selalu menuntun dan mengiringi langkah dan aktivitas kita dalam melangkah menggapai ridhlo-Nya. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan beribu-ribu terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, mendampingi, dan mengarahkan penulis dalam menyusun skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Artoto Arkundato, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota sekaligus Dosen Pembimbing Akademik yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Drs. Sujito, Ph.D., selaku Dosen Penguji satu dan Dr. Sutisna, S.Pd., M.Si., selaku Dosen Penguji ke dua yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Segenap Dosen dan Karyawan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
4. Tim komputasi magnetik 2015, Ganesa Phi 2015, anggota ukm IONS, KKN 154 dan Keluarga besar HMI komisariat MIPA yang telah banyak membantu dan memberi semangat;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu;

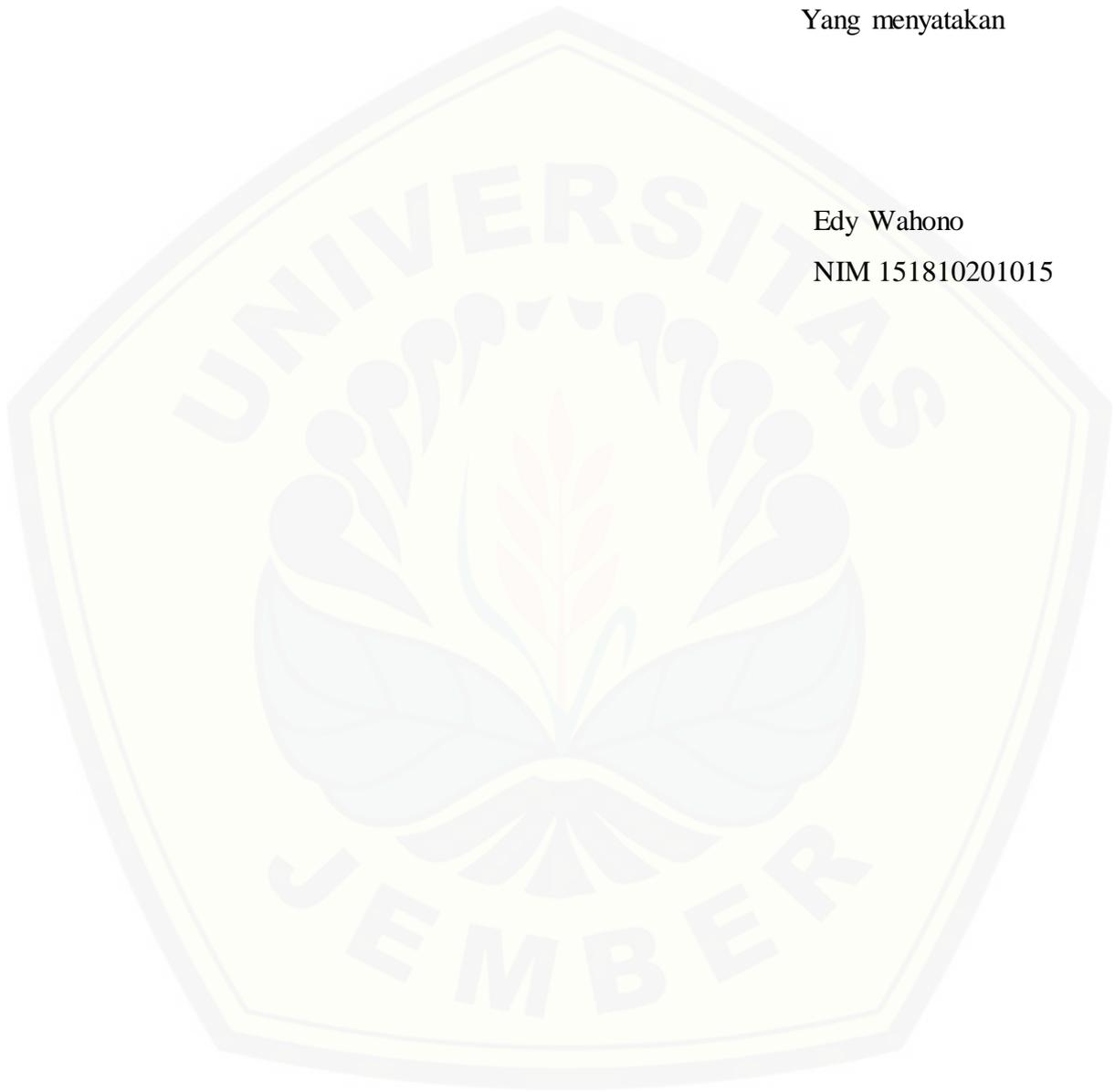
Penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis berharap skripsi ini dapat dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Jember, 21 Oktober 2019

Yang menyatakan

Edy Wahono

NIM 151810201015



DAFTAR ISI

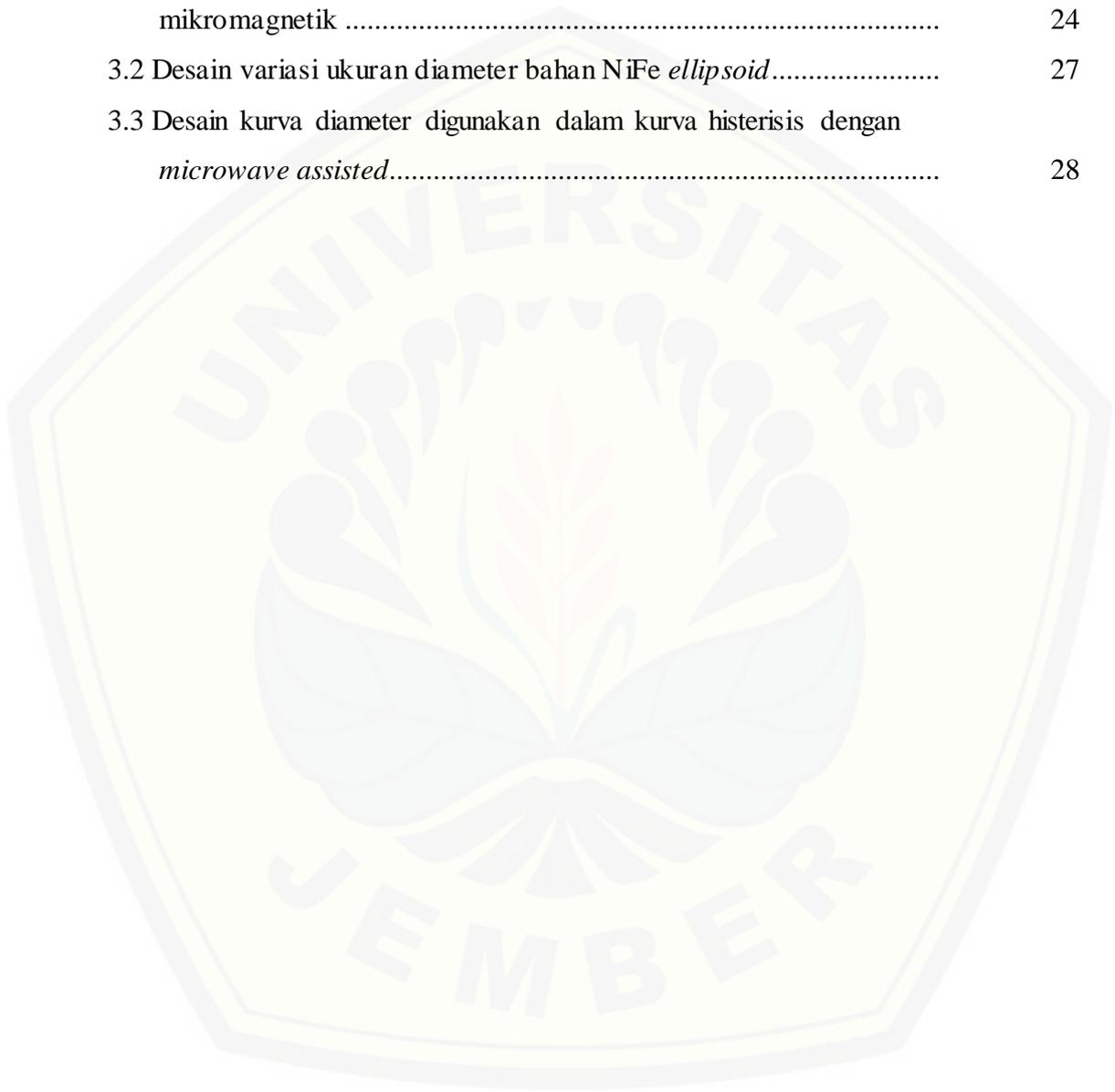
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvi
<b>LAMPIRAN</b> .....	xix
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	4
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	4
<b>1.5 Manfaat</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Struktur Domain</b> .....	6
2.1.1 Domain Tunggal ( <i>Single Domain</i> ) .....	6
2.1.2 Domain Jamak ( <i>Multi Domain</i> ) .....	7
<b>2.2 Diameter Kritis</b> .....	7
<b>2.3 Klarifikasi Bahan</b> .....	8
2.3.1 Diamagnetik .....	8
2.3.2 Paramagnetik.....	9
2.3.3 Feromagnetik .....	9
<b>2.4 Bahan Mikromagnetik NiFe</b> .....	10

<b>2.5 Simulasi Mikromagnetik .....</b>	<b>11</b>
<b>2.6 Energi Sistem Feromagnetik .....</b>	<b>12</b>
2.6.1 Energi <i>Exchange</i> .....	13
2.6.2 Energi Magnetostatik .....	14
2.6.3 Energi Anisotropi .....	15
2.6.4 Energi Zeeman .....	17
<b>2.7 Kurva Histerisis .....</b>	<b>17</b>
<b>2.8 Mekanisme Pembalikan Magnetisasi .....</b>	<b>19</b>
<b>2.9 Microwave Assisted .....</b>	<b>20</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Rancangan Penelitian .....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Jenis dan Sumber Data .....</b>	<b>23</b>
<b>3.3 Definisi Operasional Variabel .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 Variabel Bebas .....	24
3.3.2 Variabel Terikat .....	24
3.3.3 Variabel Kontrol .....	25
<b>3.4 Kerangka Penyelesaian Masalah .....</b>	<b>25</b>
<b>3.5 Prosedur Kerja .....</b>	<b>26</b>
<b>3.6 Metode Analisa .....</b>	<b>27</b>
3.6.1 Analisa Pengaruh Variasi Diameter Bahan Terhadap Struktur Domain Bahan <i>Alloy NiFe</i> .....	27
3.6.2 Analisa Kurva Histerisis .....	29
3.6.3 Analisa Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Medan Koersivitas .....	30
3.6.4 Analisa Kurva Medan Eksternal dengan <i>Microwave Assisted</i> dan Tanpa <i>Microwave</i> <i>Assisted</i> Terhadap Energi Sistem .....	30
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Pengaruh Variasi Diameter Bentuk <i>Ellipsoid</i>                 Terhadap Domain magnetik Bahan NiFe .....</b>	<b>32</b>

4.2 Medan Koersivitas dalam Kurva Histerisis Tanpa Pengaruh <i>Microwave Assisted</i> .....	37
4.3 Pengaruh <i>Microwave Assisted</i> Terhadap Medan Koersivitas dalam Kurva Histerisis .....	40
4.4 Kurva Medan Eksternal Terhadap Energi .....	45
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	48
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	49
<b>LAMPIRAN</b> .....	53

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
3.1 Parameter bahan permalloy NiFe sebagai input data simulasi mikromagnetik .....	24
3.2 Desain variasi ukuran diameter bahan NiFe <i>ellipsoid</i> .....	27
3.3 Desain kurva diameter digunakan dalam kurva histerisis dengan <i>microwave assisted</i> .....	28

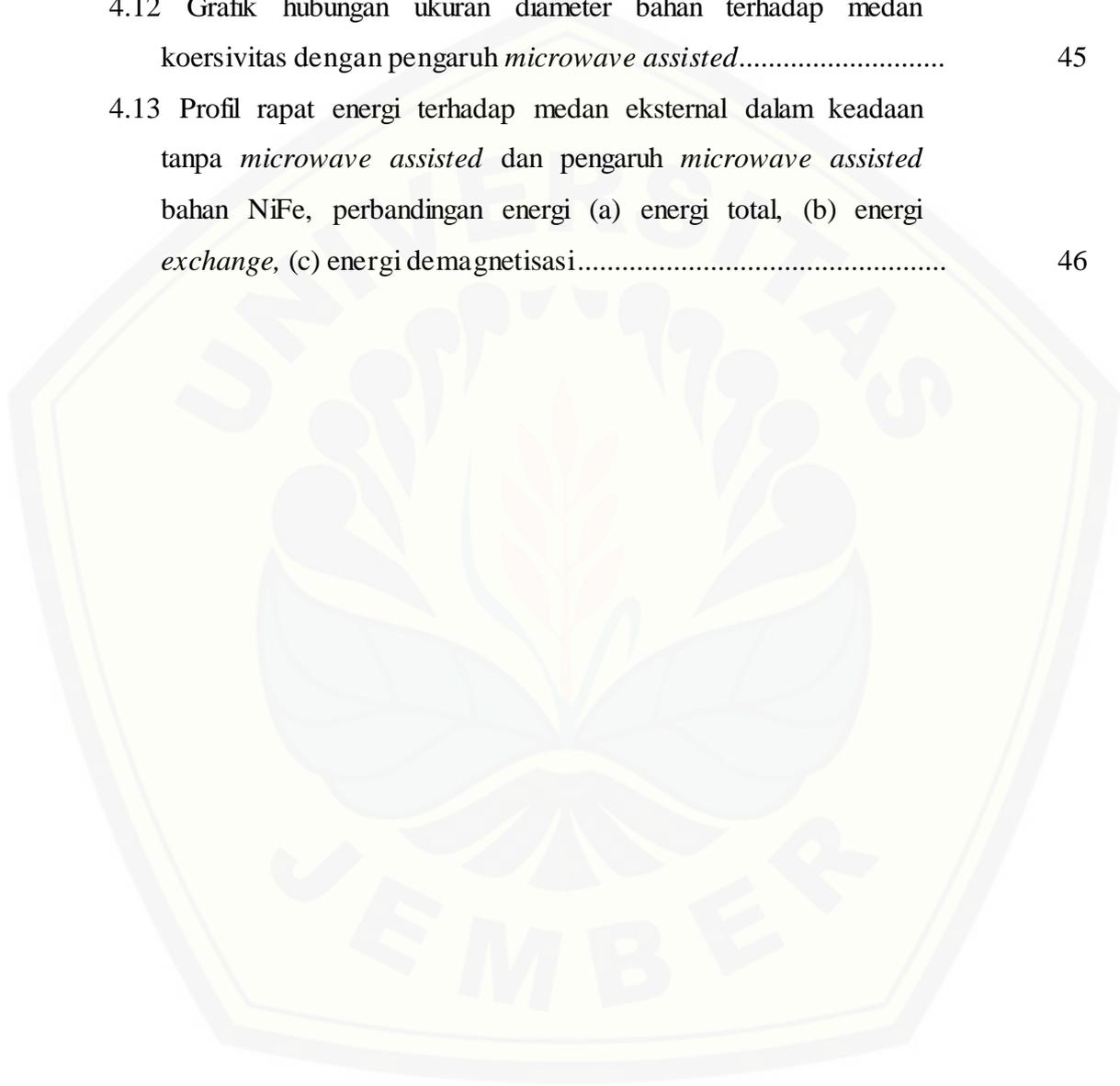


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Skema perubahan nilai koersivitas partikel feromagnetik dengan diameter.....	7
2.2 Skema material diamagnetik saat tidak adanya medan magnet H ....	9
2.3 Skema material paramagnetik saat tidak adanya medan magnet H.....	9
2.4 Skema material feromagnetik saat tidak adanya medan magnet H.....	10
2.5 Konfiguransi elektron pada bahan nikel.....	11
2.6 Konfiguransi elektron besi (Fe).....	11
2.7 Simulasi mikromagnetik <i>software</i> OOMMF.....	12
2.8 Pengurangan energi magnetotastik atau energi demagnetisasi pengaruh orientasi arah dipol-dipol magnet.....	14
2.9 Ilustrasi arah magnetisasi dari Fe dengan $K_1 > 0$ , arah <i>easy axis</i> pada [100], [010], [001]. Arah <i>hard axis</i> pada [111]. Nilai Ni dengan $K_1 < 0$ arah <i>easy axis</i> [100], [010], [001] .....	16
2.10 Kurva histerisis bahan feromagnetik.....	17
2.11 kurva histerisis hard magnetik dan soft magnetik .....	18
2.12 Pembalikan magnetisasi partikel bahan magnetik bentuk bola (a) rotasi koheren (b) <i>curling</i> .....	19
2.13 Lapisan tipis orientasi medan <i>quasistatic</i> dan medan <i>microwave</i> .....	20
3.1 Diagram alir simulasi penelitian .....	23
3.2 Diagram alir tahapan penelitian simulasi mikromagnetik .....	25
3.3 Rancangan ukuran menggunakan <i>microwave assisted</i> .....	28
3.4 Kurva histerisis medan eksternal.....	29
3.5 Kurva pengaruh <i>microwave assisted</i> dengan menggunakan variasi frekuensi dan amplitudo terhadap medan koersivitas.....	30
3.6 Kurva medan eksternal terhadap variasi energi sistem (A) energi	

total, (B) energi <i>exchange</i> dan demagnetisasi.....	31
4.1 Struktur <i>single domain</i> magnet bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> dengan variasi diameter, antara lain: (a) 10 nm, (b) 20 nm, (c) 30 nm.....	33
4.2 Diameter kritis bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> diameter 40 nm .....	33
4.3 Struktur <i>multi domain</i> magnet bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> dengan variasi diameter, antara lain: (a) 50 nm, (b) 60 nm, (c) 70 nm, (d) 80 nm, (e) 90 nm, (f) 100 nm .....	34
4.4 Profil rapat energi bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> terhadap variasi diameter .....	35
4.5 Kurva histerisis bahan NiFe ukuran diameter 10 nm dan bentuk struktur domain <i>ellipsoid</i> .....	38
4.6 Kurva histerisis ukuran 10 nm tanpa pengaruh <i>microwave assisted</i> .....	40
4.7 Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> ukuran diameter 10 nm dengan variasi frekuensi dan amplitudo, antara lain: (a) frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT, dan (b) frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT.....	41
4.8 Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> ukuran diameter 20 nm dengan variasi frekuensi dan amplitudo, antara lain: (a) frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT, dan (b) frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT.....	42
4.9 Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> ukuran diameter 30 nm dengan variasi frekuensi dan amplitudo, antara lain: (a) frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT, dan (b) frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT.....	42
4.10 Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> ukuran diameter 40 nm dengan variasi frekuensi dan amplitudo, antara lain: (a) frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT, dan (b) frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT.....	43

4.11 Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> ukuran diameter 50 nm dengan variasi frekuensi dan amplitudo, antara lain: (a) frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT, dan (b) frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT.....	44
4.12 Grafik hubungan ukuran diameter bahan terhadap medan koersivitas dengan pengaruh <i>microwave assisted</i> .....	45
4.13 Profil rapat energi terhadap medan eksternal dalam keadaan tanpa <i>microwave assisted</i> dan pengaruh <i>microwave assisted</i> bahan NiFe, perbandingan energi (a) energi total, (b) energi <i>exchange</i> , (c) energi demagnetisasi.....	46



LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Struktur <i>single domain</i> bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> ..	53
Lampiran 2. Diameter kritis atau transisi bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> .....	53
Lampiran 3. Struktur <i>multi domain</i> bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> ...	54
Lampiran 4. Profil rapat energi struktur domain diameter bahan NiFe .....	55
Lampiran 5. Kurva histerisis tanpa pengaruh <i>microwave assisted</i> dan struktur domain bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> .....	55
lampiran 6. Kurva histerisis transisi atau diameter kritis dan struktur <i>multi domain</i> .....	56
Lampiran 7. Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> dengan variasi frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT .....	57
Lampiran 8. Kurva histerisis pengaruh <i>microwave assisted</i> dengan variasi frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT ....	58
Lampiran 9. Grafik hubungan diameter bahan NiFe terhadap medan koersivitas pengaruh <i>microwave assisted</i> .....	59
Lampiran 10. Profil energi hubungan medan eksternal terhadap rapat energi .....	59
Lampiran 11. Script yang digunakan untuk struktur domain masing-masing ukuran diameter bahan NiFe bentuk <i>ellipsoid</i> .....	60
Lampiran 12. Script prtogram pengaruh <i>microwave assisted</i> .....	61
Lampiran 13. Perhitungan diameter kritis dengan persamaan Brown	62

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi yang semakin berkembang menyebabkan kebutuhan teknologi dikalangan masyarakat bertambah dengan kemampuan daya dukung teknologi semakin besar dan lebih baik. Era milenial ini teknologi merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat, dimana teknologi merupakan kebutuhan yang dibutuhkan setiap lapisan masyarakat, contoh penerapan untuk daftar hadir dengan menggunakan QR di kantor maupun di instansi lain. Kemampuan teknologi menjadi faktor utama yang dilihat sebagai acuan daya tarik terhadap minat masyarakat yang semakin pintar dalam menentukan standart kualitas setiap teknologi. Salah satu teknologi yang dibutuhkan manusia pada umumnya adalah komputer, yang bisa digunakan untuk membantu memudahkan pekerjaan, sekarang harga yang relatif terjangkau tetapi dengan kemampuan spesifikasi yang semakin bagus. Salah satu komponen penting yang ada dalam komputer adalah *hard disk drive* (HDD) yang merupakan media penyimpanan data jangka panjang. Kemampuan dan kapasitas HDD pada saat ini terus mengalami pengembangan untuk meningkatkan kapasitas memenuhi kebutuhan yang ada.

HDD digunakan sebagai media penyimpanan data pada komputer, handphone dan devais yang menggunakan media penyimpanan internal. HDD memerlukan lapisan magnetik dalam pembuatanya, salah satu bahan magnetik yang digunakan untuk melapisi *hard disk drive* adalah bahan feromagnetik (Chaudary dan Kansal, 2015). Feromagnetik merupakan bahan magnetik yang mempunyai nilai suseptibilitas magnetik besar serta mempunyai nilai positif. Struktur domain magnet yang dimiliki bahan feromagnetik berbeda dengan bahan megnetik lainnya. Perbedaan struktur tersebut bisa dilihat pada adanya domain magnetik yaitu daerah pada bahan feromagnetik yang mempunyai momen magnetik yang sejajar. Medan magnet luar dapat mempengaruhi domain magnetik sehingga menyebabkan momen magnetik atom akan mensejajarkan diri terhadap medan luar secara berskala. Bahan-bahan feromagnetik antara lain yaitu Nikel (Ni), Besi (Fe), Cobalt (Co) dan *alloy*, seperti NiFe atau CoFe (Sudjatmoko,

2005). *Alloy* bahan NiFe memiliki kemampuan untuk menerima satu keadaan magnetisasi, karena mempunyai polarisasi tunggal atau arah magnetisasi tunggal. Bahan *alloy* NiFe merupakan bahan feromagnetik yang dapat merespon medan magnet dengan cepat yang diakibatkan oleh adanya perubahan arus (Budi *et al.*, 2004).

Karakteristik bahan feromagnetik ditentukan dari loop kurva histerisis, dimana terdapat dua macam karakteristik berdasarkan kurva histerisis yaitu *soft* magnet dan *hard* magnet. Loop akan cenderung berbentuk pipih jika medan koersivitasnya kecil, maka bahan dikategorikan kedalam bahan yang *soft* magnet. Medan koersivitas besar yang menghasilkan kurva histerisis merupakan bahan yang termasuk *hard* magnet (Diandra, 1996). Bahan feromagnetik merupakan bahan yang memiliki resultan medan atomis terbesar yang disebabkan adanya spin elektron, terdapat banyak spin yang tidak berpasangan yang akan menimbulkan medan magnetik sehingga total medan magnetik yang dihasilkan suatu atom menjadi lebih besar (Billah, 2006).

Penelitian tentang domain magnet telah dilakukan oleh Nagara (2016) dengan menggunakan bahan CoPd berbagai variasi diameter antara 110 nm sampai dengan 280 nm untuk mendapatkan bentuk dari struktur domain. Penelitian yang dilakukan diketahui bahwa nilai diameter kritis sebesar 140 nm yang diperkuat dengan adanya grafik profil energi sistem. Analisis yang diteliti mengenai pengaruh dari *microwave assisted* yang diamati pada kurva histerisis dengan menggunakan ukuran sebesar 15 nm, 4 variasi nilai amplitudo dan frekuensi. Hasil yang diperoleh yang telah dilakukan didapatkan informasi bahwa *microwave assisted* mampu membuat nilai medan koersivitas menurun, sehingga *microwave assisted* lebih cepat mengalami pembalikan magnetisasi dengan rentang medan eksternal yang lebih kecil daripada tanpa *microwave assisted*. Medan koersivitas yang bernilai besar terletak pada diameter yang menunjukkan dari struktur *single-domain* (dibawah dari diameter kritis) dan akan dipengaruhi oleh adanya medan eksternal (Nagara, 2016). *Microwave assisted* merupakan medan eksternal yang memberikan pengaruh pada perekam magnetik karena mampu menurunkan nilai medan koersivitas pada bahan feromagnetik. Pengaruh

dari *microwave assisted* akan disimulasikan dengan bahan *alloy* yang lain sehingga akan diperoleh perubahan medan koersivitas melalui kurva histerisis yang terbentuk. Penelitian yang dilakukan untuk bahan NiFe pengaruh medan eksternal dengan variasi sudut yang diaplikasikan membuat semakin kecil medan koersivitas dalam kurva histerisis. Medan eksternal pada ukuran 5 nm didapatkan medan koersivitas sebesar 5000 mT, sedangkan pada ukuran 20 nm didapatkan medan koersivitas sebesar 390 mT yang dipengaruhi sudut. Struktur domain yang terbentuk adalah domain tunggal atau *single domain* karena domain selalu searah (Merinda, 2017).

Simulasi mikromagnetik magnetisasi HDD yang dilakukan dengan menggunakan metode pendekatan secara simulasi, memiliki kesesuaian dengan eksperimen. Simulasi dilakukan dengan mensimulasikan struktur domain pada keadaan *groundstate* atau dengan memberikan pengaruh medan magnet eksternal. Keadaan *groundstate* adalah keadaan stabil pada energi minimum digunakan untuk investigasi titik diameter kritis. Titik ini merupakan ukuran diameter maksimum dari keadaan struktur *single domain* (SD) (Widodo, 2013). Simulasi mikromagnetik yang dilakukan dengan menggunakan aplikasi yaitu OOMMF. Aplikasi OOMMF dapat digunakan untuk *running* simulasi mikromagnetik berupa *finite different*, OOMMF dijalankan dalam sistem windows. Perbandingan yang digunakan dalam simulasi mikromagnetik yaitu pengaruh medan magnet eksternal dari pengaruh *microwave assisted* dan tanpa *microwave assisted*. Simulasi yang diteliti pada pembentukan kurva histerisis dan mekanisme pembalikan struktur domain, dimana kurva histerisis berisi informasi mengenai medan nukleasi, medan remanen, medan koersivitas dan medan saturasi. *Microwave assisted* yang digunakan sebagai pengaruh simulasi mempunyai nilai amplitudo maupun frekuensi yang bervariasi. Nilai amplitudo maupun frekuensi yang diperoleh semakin besar, maka dapat membuat tipis medan *switching*. Kondisi lebar atau tipisnya medan ini dapat diamati dalam kurva histerisis (Li et al., 2008).

Bahan feromagnetik yang digunakan dalam simulasi mikromagnetik yaitu lapisan bahan NiFe. Bahan *alloy* NiFe memiliki kemampuan untuk menerima satu

keadaan magnetisasi, karena mempunyai polarisasi tunggal atau arah magnetisasi tunggal. Bahan *alloy* NiFe merupakan bahan feromagnetik yang dapat merespon medan magnet dengan cepat yang diakibatkan oleh adanya perubahan arus. Karakteristik unggul dari bahan feromagnetik NiFe yaitu medan koersivitas dan magnetostriksi bernilai kecil (Budi *et al.*, 2004). Penelitian dengan lapisan bahan NiFe dapat memberikan kontribusi pada perkembangan teknologi terutama pada media penyimpanan data.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penelitian simulasi mikromagnetik yang dilakukan rumusan masalah yang mendasari antara lain yaitu :

1. Berapakah ukuran diameter kritis bentuk *ellipsoid* dari struktur domain bahan NiFe hasil simulasi mikromagnetik ?
2. Bagaimana pengaruh *microwave assisted* terhadap medan koersivitas bahan NiFe bentuk *ellipsoid* dalam kurva histerisis ?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian simulasi mikromagnetik antara lain yaitu :

1. Bahan yang digunakan dalam simulasi bahan NiFe dalam bentuk *ellipsoid*,
2. Aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu OOMMF dalam sistem operasi windows,
3. Pengaruh medan eksternal atau *microwave assisted* dan variasi diameter yang digunakan.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang diharapkan dari simulasi mikromagnetik antara lain yaitu :

1. Penelitian ini digunakan untuk mengetahui ukuran diameter kritis bahan NiFe dalam bentuk *ellipsoid* pada hasil simulasi mikromagnetik sebagai penentuan ukuran yang sesuai dalam pembuatan HDD,

2. Mengetahui pengaruh medan eksternal dengan tambahan *microwave assisted* terhadap medan koersivitas dari bahan NiFe bentuk *ellipsoid* dalam kurva histerisis.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dilakukan diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan ilmu fisika komputasi terutama dalam simulasi mikromagnetik sebagai acuan pembuatan media penyimpan data dengan adanya faktor pengaruh medan eksternal dan variasi diameter. Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang nilai medan koersivitas maksimal dari bahan NiFe sehingga digunakan acuan dalam pembuatan HDD. Diharapkan dengan adanya variasi diameter dapat membantu dalam mengetahui diameter kritis bahan NiFe untuk mengetahui adanya perubahan domain.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Kemagnetan merupakan sifat dari suatu bahan yang berperan penting dalam kemajuan pengembangan aplikasi memori ataupun HDD. Pemahaman mengenai kemagnetan dari suatu bahan dapat dipelajari dari teori yang sudah ada kaitanya dengan mekanisme penyimpanan dalam memori atau HDD secara umum seperti struktur domain magnetik dan kurva histerisis.

### 2.1 Struktur Domain

#### 2.1.1 Domain Tunggal (*Single Domain*)

Sifat magnetik bahan-bahan feromagnetik sangat dipengaruhi oleh ukuran sel. Sel yang hanya memiliki dipol magnetik tunggal yang terisolasi yang disebut domain tunggal atau *single domain* (Mahardika, 2008). Partikel magnetik yang tetap dalam satu domain tunggal untuk semua medan magnet disebut partikel domain tunggal. Partikel ini sangat kecil (umunya di bawah diameter mikrometer). Pada awal 1930 an Frenkel dan Dorfman memperkirakan bahwa ada partikel yang cukup kecil yang memiliki satu domain. Pada tahun 1940 an peningkatan perhitungan batas ukuran atas oleh Kittel dan Neel, dan perhitungan kurva magnetisasi untuk sistem partikel domain tunggal oleh Stoner dan Wohlfarth (Stoner dan Wohlfarth, 1948). Partikel ini berada dalam keadaan domain tunggal sepanjang siklus histerisis, 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 yang 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. Dinding-dinding domain bergerak dengan mudah di dalam magnet dan memiliki koersivitas rendah (Butler dan Banerjee, 1975).

Teori yang paling banyak digunakan untuk histerisis dalam partikel domain tunggal adalah model Stoner-Wohlfarth, ini berlaku untuk sebuah partikel

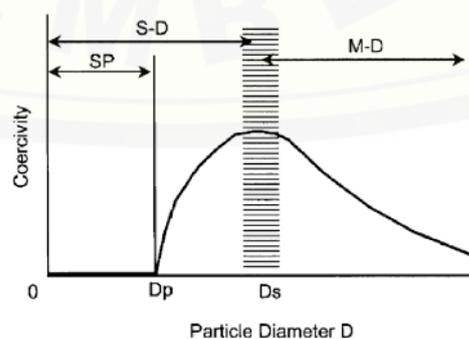
dengan anisotropi magnetokristalin uniaksial (Stoner dan Wohlfarth, 1948). Berdasarkan pendekatan mikromagnetik, pada saat *single domain* dimana keseluruhan momen magnet sejajar sumbu anisotropinya, maka kontribusi energi *exchange* dan energi anisotropi dari total energi sistem adalah nol. Satu-satunya energi yang relevan adalah energi magnetostatik. Partikel dengan struktur domain tunggal (*single domain*) sering disebut sebagai partikel Stoner-Wohlfarth (Mardona, 2012).

### 2.1.2 Domain Jamak (*Multi Domain*)

Kutub-kutub bebas pada permukaan *single domain* menghasilkan suatu energi magnetik yang bertambah dengan volume butir. 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, 2008). 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* (Guimaraes, 2009).

## 2.2 Diameter Kritis

Diameter kritis yaitu wilayah yang menandai adanya perubahan domain tunggal (*single domain*) ke domain jamak (*multi domain*) seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 2.1 Skema perubahan nilai koersivitas partikel feromagnetik dengan diameter (Sumber : Rao et al., 2007)

Nilai diameter kritis umumnya dari 10 nm hingga melebihi 1000 nm. Diameter kritis pada domain magnet  $D_s$ , yang merupakan diameter dengan nilai terbesar yang dimiliki oleh partikel feromagnetik. Energi yang dimiliki lebih untuk membagi diri menjadi dua atau lebih domain. Menurut Widodo (2013) diameter kritis *single-domain* yang dijabarkan oleh Kittel dengan membandingkan energi yang dibutuhkan untuk membuat dinding domain terhadap pengurangan energi magnetostatik atau energi demagnetostatik selama pembuatan struktur domain. Persamaan Brown menghitung secara rinci batas-batas ukur untuk diameter kritis dengan keadaan struktur *single-domain* dengan menggunakan energi minimum dengan persamaan berikut ini.

$$D_c = 7,211 \times I_{ex} \quad (2.1)$$

Menurut Naturalium (2006) untuk nilai dari *exchange length* dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}} \quad (2.2)$$

Diameter kritis untuk struktur partikel *single* domain dapat menggunakan persamaan berikut (Guimaraes, 2009)

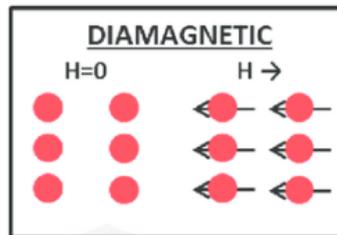
$$D_s = \frac{72\sqrt{AK}}{\mu_0 M_s^2} \quad (2.3)$$

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

## 2.3 Klarifikasi Bahan

### 2.3.1 Diamagnetik

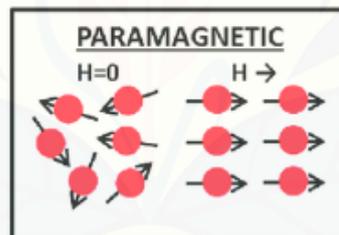
Diamagnetik adalah gejala kemagnetan suatu bahan dimana ketika tidak ada medan luar H momen magnetiknya nol dan ketika suatu bahan diberikan medan magnet luar H, maka akan terinduksi oleh perubahan elektron orbital yang disebabkan oleh medan magnet luar. Besarnya momen magnet induksi sangat kecil dan arahnya kabalikan dari medan magnet luar. Material diamagnetik memiliki suseptibilitas yang sangat kecil (orde  $10^{-5}$ ) dan negatif (Hasan, 2008).



Gambar 2.2 Skema material diamagnetik saat tidak adanya medan magnet H  
(Sumber: Veronica *et al.*, 2016)

### 2.3.2 Paramagnetik

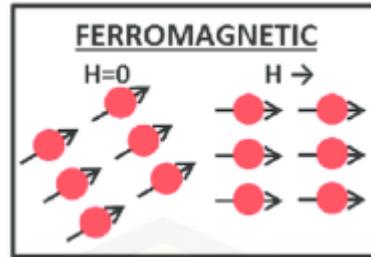
Paramagnetik adalah gejala kemagnetan pada suatu bahan dimana jika terdapat medan luar yang mempengaruhi maka momen magnetik akan memiliki arah yang sama dengan arah medan luar tersebut, namun hanya sebagian kecil saja yang menjadi searah. Hal ini disebabkan karena pada bahan paramagnetik energi panas memiliki pengaruh yang relatif lebih besar daripada energi magnetik yang diberikan. Bahan paramagnetik memiliki susceptibilitas yang kecil dan positif  $\chi \approx 10^{-3} - 10^5$  (Hasan, 2008).



Gambar 2.3 Skema material paramagnetik saat tidak adanya medan magnet H  
(Sumber: Veronica *et al.*, 2016)

### 2.3.3 Feromagnetik

Bahan feromagnetik adalah bahan yang permeabilitas relatif jauh lebih besar dari satu dan susceptibilitasnya bernilai positif. Bahan feromagnetik diberi medan magnet luar, maka momen magnet dalam domain magnet akan searah dengan medan magnet luar tersebut. Momen-momen magnet ini akan tetap searah walaupun medan magnet luar dihilangkan, sehingga bahan ini dapat dijadikan magnet permanen. Domain magnet pada bahan feromagnetik tanpa diberi medan magnet luar dan diberi medan magnet luar ditunjukkan pada gambar 2.4. Bahan yang termasuk dalam feromagnetik adalah besi, kobalt, dan nikel (Ida, 2004).



Gambar 2.4 Skema material ferromagnetik saat tidak adanya medan magnet H  
(Sumber: Veronica *et al.*, 2016)

#### 2.4 Bahan Mikromagnetik NiFe

Lapisan tipis magnetik yang dikembangkan salah satunya yaitu lapisan tipis *alloy* NiFe. Lapisan *alloy* NiFe merupakan salah satu dari material magnetik yang merupakan bahan dasar dalam sistem perekam data atau HDD. Lapisan tipis NiFe memiliki sifat magnetoresistif yang baik digunakan dalam bahan dasar sensor magnetik (Jannah, 2006). Bahan NiFe termasuk bahan ferromagnetik atau bahan *permalloy* yang merupakan bahan *alloy* magnetik tersusun atas nikel dan besi, dengan perbandingan sebesar 80% nikel dan 20% besi. Bahan *permalloy* dengan campuran kandungan nikel yang jauh lebih besar daripada kandungan besinya akan memiliki permeabilitas jauh lebih besar dibandingkan dengan bahan *permalloy* nikel yang jauh lebih sedikit tetapi memiliki induksi yang lebih rendah ketika pada keadaan jenuh. Bahan *permalloy* NiFe akan sensitif terhadap benturan dan sifat kemagnetannya akan dipengaruhi oleh tekanan (Putu, 2010). Bahan *alloy* NiFe digunakan dalam penelitian ini meliputi nikel dan besi. Nikel (Ni) adalah bahan logam yang memiliki sifat warna putih mengkilat, keras dan tahan terhadap korosi. Sifat yang dimiliki nikel dapat dimanfaatkan untuk melapisi barang yang berasal dari besi, baja, atau tembaga, sehingga barang tersebut dapat terlindungi dari korosi. Bahan nikel dapat juga digunakan sebagai paduan logam seperti, *stainless steel*, monel (Ni, Cu dan sedikit Fe), nikrom (Ni, Fe, dan Cr), alnico (Al, Ni, Fe dan Co), dan paduan dari NiFe. Nikel (Ni) memiliki momen magnetik sebesar  $2\mu$  dengan nomor atom 28 dan 2 elektron yang tidak berpasangan pada sub kulit atom 3d dengan konfigurasi elektron pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Konfigurasi elektron pada bahan nikel (Sumber : Smith, 1993)

Bahan besi murni yaitu bahan logam yang berwarna putih mengkilat dan memiliki sifat yang relatif lunak. Besi merupakan bahan logam yang cepat mengalami korosi dan termasuk logam yang reaktif dalam keadaan udara yang lembab. Bahan besi termasuk logam yang dapat dicampur dengan bahan lainnya sehingga menjadi bahan yang memiliki sifat keras dan tidak mudah mengalami korosi atau berkarat. Besi memiliki nomor atom 26 dan memiliki 4 atom yang tidak berpasangan pada sub kulit 3d, dapat dilihat pada konfigurasi elektron pada gambar 2.6. Momen magnet bisa disebabkan adanya pergerakan elektron-elektron yang mengelilingi inti dan berputar pada sumbunya. Bahan besi memiliki momen magnet sebesar  $4\mu$ , karena pada setiap elektron besi yang berputar memiliki momen dipol magnet, sehingga momen magnet ini disebut dengan magneton Bohr dengan nilai sebesar  $\mu_B = 9,27 \times 10^{-24} \text{ Am}^2$



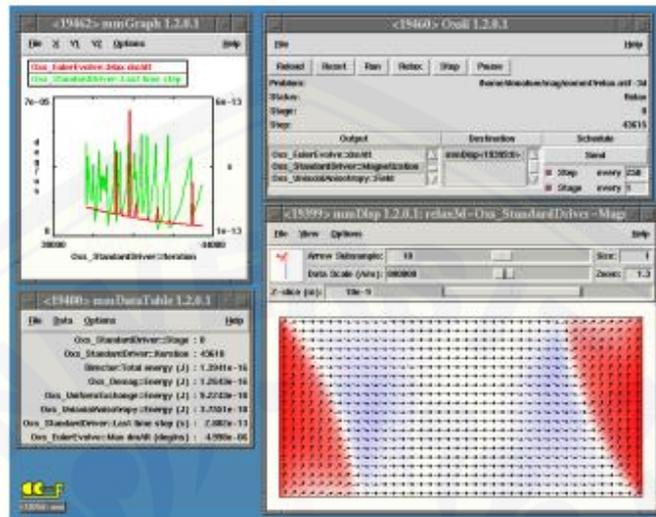
Gambar 2.6 Konfigurasi elektron besi (Fe) (Sumber : Smith, 1993)

## 2.5 Simulasi Mikromagnetik

Konsep simulasi mikromagnetik dapat digunakan dengan *software* sebagai berikut ini.

1. OOMMF (*finite difference methods*) merupakan *software* yang menggunakan sebuah bangun persegi/ kotak sebagai atom penyusun dari bahan. Simulasi mikromagnetik dengan *software* ini mempunyai geometri bangun yang sejenis berbentuk kotak atau persegi. Bangun ini yang dijelaskan secara terperinci dari setiap tepi/sisi bangun. *Software* ini mempunyai kelemahan dalam melakukan simulasi geometri bangun yang berbentuk lingkaran. Kelemahan ini disebabkan

adanya hasil dari simulasi mempunyai *error* yang bernilai besar (<http://math.nist.gov/oommf/otherlinks.html>).



Gambar 2.7 Simulasi mikromagnetik *software* OOMMF (Sumber : NIST, 2002)

2. Origin Pro dan Maya Vi, merupakan *software* tambahan yang digunakan untuk mengolah hasil data output yang diperoleh dari hasil simulasi. Origin Pro digunakan sebagai plot kurva histerisis dari pengaruh *microwave assisted* atau tanpa adanya pengaruh *microwave assisted*. File output yang digunakan yaitu file.odt pada kolom O urutan ke 15 sebagai sumbu x yang merupakan Oxs\_Uzeeman::Bz dan urutan ke 22 pada kolom V yang merupakan Oxs\_TimeDriver::magnetization sebagai sumbu y. *Software* Maya Vi digunakan sebagai visualisasi gambar untuk identifikasi dari bentuk diameter kritis yang didapatkan. File output yang digunakan yaitu file .vtk digunakan data input untuk menghasilkan visualisasi yang diinginkan.

## 2.6 Energi Sistem Feromagnetik

Energi sistem feromagnetik merupakan energi yang mempengaruhi suatu bahan dari kondisi tertentu. Energi yang digunakan adalah energi total, dimana energi total didapatkan dari penjumlahan energi lain yaitu, energi *exchange*, energi magnetostatik, energi anisotropi dan energi zeeman.

### 2.6.1 Energi *Exchange*

Energi *exchange* ( $E_{ex}$ ) yaitu energi yang disebabkan oleh interaksi spin dengan spin terdekatnya yang melalui *exchange coupling*. Energi *exchange* ini dapat dijabarkan dengan persamaan Heisenberg sebagai berikut ini

$$E_{ex} = -2J \sum_{ij} S_i \cdot S_j \quad (2.4)$$

Untuk  $J$  adalah konstanta *exchange* ( $J/m$ ),  $S_i$  dan  $S_j$  adalah unit vektor dua spin atom yang saling berinteraksi. Interaksi dari dua spin akan tergantung pada spin paralel atau antiparalel yang disesuaikan dengan aturan larangan Pauli (*Pauli exclusion*). Larangan Pauli yaitu tidak diperkenankan ada dua elektron yang mempunyai bilangan kuantum yang sama pada tempat maupun waktu yang sama. Persamaan pada 2.5 dapat disederhanakan dengan menggunakan ekspansi Taylor, maka akan diperoleh persamaan berikut ini.

$$E_{ex} = -2JS^2 \sum_{ij} \cos \theta_{ij} \approx -2JS^2 \sum_{ij} \left(1 - \frac{1}{2} \theta_{ij}^2\right) = const + JS^2 \sum_{ij} \theta_{ij}^2 \quad (2.5)$$

Untuk  $\theta_{ij}$  adalah sudut antara  $m_j$  dan  $m_i$ , maka  $|\theta_{ij}| = |\mathbf{m}_j - \mathbf{m}_i|$ , sehingga akan menjadi persamaan berikut ini.

$$E_{ex} = const + JS^2 (\mathbf{m}_j - \mathbf{m}_i)^2 \quad (2.6)$$

Dimana  $\mathbf{m}$  yaitu vektor magnetisasi dan  $S$  yaitu nilai dari spin. Jarak vektor  $\mathbf{m}_j - \mathbf{m}_i$  dapat dituliskan dalam bentuk fungsi kontinu  $\mathbf{m}$  yaitu  $\mathbf{m}_j - \mathbf{m}_i = \Delta \mathbf{r}_j \cdot \nabla \mathbf{m}$  dengan  $\Delta \mathbf{r}_j = r_j - r_i$ . Energi *exchange* dapat dituliskan sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} E_{ex} &= const. + JS^2 \sum_i (\Delta \mathbf{r}_j \cdot \nabla \mathbf{m}) \\ &= const. + JS^2 \sum_i \left[ (\Delta \mathbf{r}_j \cdot \nabla \mathbf{m}_x)^2 + (\Delta \mathbf{r}_j \cdot \nabla \mathbf{m}_y)^2 + (\Delta \mathbf{r}_j \cdot \nabla \mathbf{m}_z)^2 \right] \quad (2.7) \end{aligned}$$

Karena sifat simetris dari bentuk kubik, maka  $\sum x_i y_j = 0$  dan  $\sum x_j^2 = \frac{1}{3} \sum \Delta \mathbf{r}_j^2$ . Penjumlahan dari seluruh indeks  $j$  dan total bilangan spin  $n$  per unit volume, maka energi *exchange* dalam per unit volume  $\epsilon_{ex}$  menjadi persamaan berikut ini.

$$\epsilon_{ex} = A \left[ (\nabla \mathbf{m}_x)^2 + (\nabla \mathbf{m}_y)^2 + (\nabla \mathbf{m}_z)^2 \right] \quad (2.8)$$

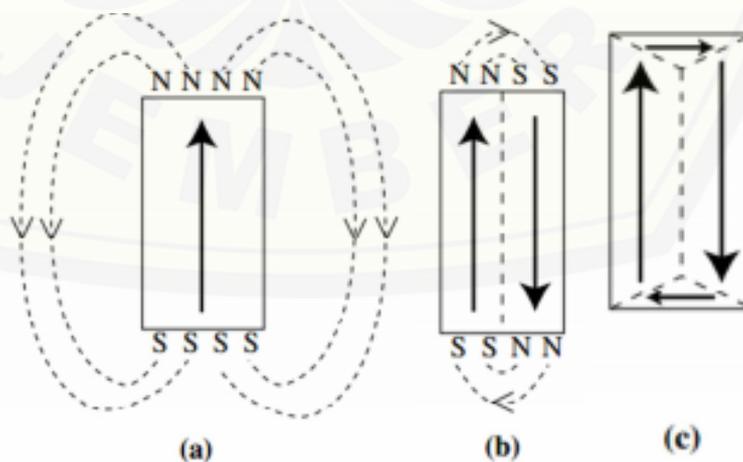
Dengan  $A = \left(\frac{1}{6}\right) nJS^2 \sum \Delta \mathbf{r}_j^2$  yaitu konstanta *exchange stiffness* ( $J/m$ ), sehingga energi *exchange* untuk semua volume bahan magnet yaitu

$$E_{ex} = A \int_V (\nabla \mathbf{m})^2 dV = \frac{A}{M_s^2} \int_V (\nabla M)^2 dV \quad (2.9)$$

Dengan  $\mathbf{M} = M_s \cdot \mathbf{m}$ , dimana  $\mathbf{M}$  yaitu magnetisasi ( $A/m$ ) dan  $M_s$  yaitu magnetisasi saturasi ( $A/m$ ). Persamaan 2.10 bersifat isotropik dikarenakan  $E_{ex}$  tidak bergantung dari arah perubahan magnetisasi (Getzlaff, 2008).

### 2.6.2 Energi Magnetostatik

Energi magnetostatik yaitu energi bahan magnet yang berasal dari interaksi muatan kutub positif dan muatan negatif (dipol-dipol) dari bahan itu sendiri. Ilustrasi yang menunjukkan bahwa magnetisasi menyebabkan dipol-dipol memiliki sifat magnet dengan medan magnet disekitarnya dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini. Medan magnetik tersebut disebut dengan medan demagnetisasi (*demagnetizing field*)  $H_d$ . energi magnetostatik disebut juga dengan energi demagnetisasi, untuk besar nilai energi magnetostatik bergantung pada jumlah dipol dan arah orientasi antara dipol-dipolnya. Dipol-dipol pada magnet mempunyai orientasi arah yang sama satu dengan yang lainnya, energi magnetostatik akan mempunyai nilai yang lebih besar pada gambar 2.8 (a), jika dibandingkan dengan bahan magnet dengan dipol-dipol yang anti parallel satu dengan yang lainnya, seperti pada gambar 2.8 (b), sedangkan untuk keadaan dipol-dipol pada gambar 2.8 (c) akan menyebabkan energi magnetostatik mempunyai nilai minimum (Guimaraes, 2009).



Gambar 2.8 Pengurangan energi magnetostatik atau energy demagnetisasi pengaruh orientasi arah dipol-dipol magnet (Sumber : Nicola, 2011)

Energi magnetostatik  $E_d$ , dianggap sebagai besarnya energi magnetisasi yang ada di dalam medan demagnetisasi dengan persamaan berikut ini.

$$E_d = \frac{1}{2} \mu_0 \int_V \mathbf{H}_d \mathbf{M} dV \quad (2.10)$$

Dimana untuk  $\mathbf{H}_d$  yaitu medan demagnetisasi dan  $\mathbf{M}$  yaitu magnetisasi. Energi magnetostatik  $E_d$  dapat ditentukan nilainya dengan persamaan berikut ini.

$$E_d = \frac{1}{2} \mu_0 \int_{allspace} \mathbf{H}_d^2 dV \quad (2.11)$$

Dimana nilai  $\mathbf{H}_d$  ditentukan dengan persamaan

$$\mathbf{H}_d = -N_d \mathbf{M} \quad (2.12)$$

Dimana  $N_d$  yaitu faktor demagnetisasi yang bergantung pada bentuk bahan dan arah magnetisasi. Faktor demagnetisasi  $N_d$  untuk sebuah yang berbentuk bola yaitu  $\frac{1}{3}$  (Guimaraes, 2009).

### 2.6.3 Energi Anisotropi

Energi anisotropi yaitu energi yang mengarah pada arah magnetisasi dan sumbu kristalografi (*crystallographic axis*). Acuan magnetisasi mempunyai kecenderungan untuk sejajar sepanjang arah dari sumbu mudah Kristal (*easy axis direction*) untuk kebanyakan kasus. Energi anisotropi per unit volume  $E_{ani}(\mathbf{m})$  berbentuk bola dengan sudut magnetisasi  $\phi$  dan  $\theta$  ke dalam persamaan berikut ini.

$$E_{ani}(\mathbf{m}) = \int_V E_{ani}(\mathbf{m}) dV \quad (2.13)$$

Dimana  $\mathbf{m} = (\sin \theta \cos \phi \mathbf{e}_x + \sin \theta \sin \phi \mathbf{e}_y + \cos \theta \mathbf{e}_z)$  dan vektor  $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$  bersesuaian dengan sumbu kristalografi  $a, b, c$ . Kasus uniaksial untuk energi anisotropi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$\epsilon_{ani} = K_1 \sin^2 \theta + K_2 \sin^4 \theta + K_3 \sin^6 \theta + \dots \quad (2.14)$$

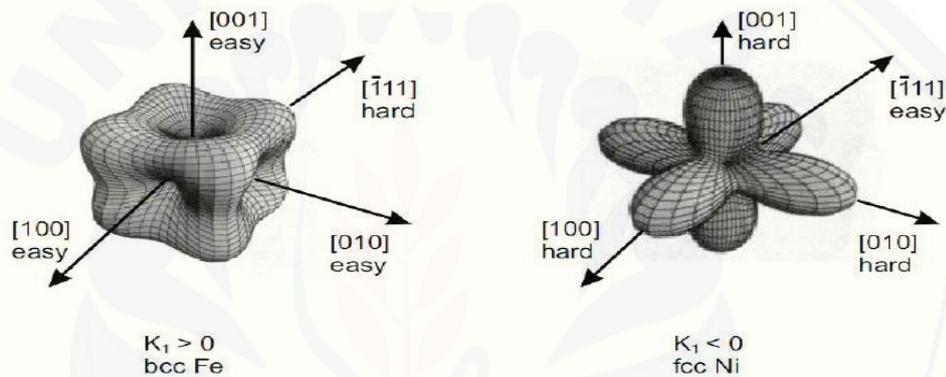
Dengan  $K_1, K_2, K_3$  merupakan konstanta anisotropi dalam satuan  $J/m^3$  dan  $\theta$  yang merupakan sudut antar magnetisasi dengan sumbu kristalografi.  $K_1$  adalah konstanta uniaksial anisotropi yang mempunyai nilai positif dan negatif, untuk nilai  $K > 0$ , maka energy minimum terletak pada  $\theta = 0$  dan  $\theta = \pi$ . Menunjukkan bahwa sumbu mudah (*easy axis*) akan sejajar dengan sumbu simetris dan disebut juga dengan *easy axis anisotropy*. Nilai  $K > 0$  menyebabkan energi minimumnya

terletak pada  $\theta = \frac{\pi}{2}$ . Menunjukkan bahwa sudut ini disebut dengan *easy plane anisotropy* (Guimaraes, 2009).

Berbagai contoh bahan seperti besi (Fe) dengan struktur kristal kubik yang memiliki *easy axis* sepanjang (100) dan  $K > 0$ , nikel (Ni) memiliki *easy axis* sepanjang (1 1 1) dan  $K > 0$ , sedangkan pada bahan kobalt (Co) memiliki struktur kristal Heksagonal uniaksial anisotropi (Hughes, 2000). Kristal kubik memiliki kerapatan energi anisotropi dengan persamaan berikut ini.

$$\epsilon_{ani} = K_1 + K_2(a_1^2 a_2^2 + a_1^2 a_3^2 + a_2^2 a_3^2) + K_3(a_1^2 a_2^2 a_3^2) + \dots \quad (2.15)$$

Dengan arah dari  $a_n$  adalah cosinus.



Gambar 2.9 Ilustrasi arah magnetisasi dari Fe dengan  $K_1 > 0$ , arah *easy axis* pada [100], [010], [001]. Arah *hard axis* pada [111]. Nilai Ni dengan  $K_1 < 0$ , arah *easy axis* [100], [010], [001] (Sumber : Boardman *et al.*, 2004)

Penerapan energi anisotropi yang lain yaitu energi energi anisotropi pengaruh dari bentuk (*shape anisotropy energy*). Anisotropi bentuk berasal dari interaksi magnetostatik yang bergantung bentuk sampel (bola, elips, dan kubus). Pengaruh dari bentuk dapat dituliskan dalam faktor demagnetisasi  $N$  dalam tiga sumbu utama (x,y,z), terdapat hubungan sederhana yaitu  $N_a + N_b + N_c = 1$ . Contoh bentuk bola yang mempunyai faktor demagnetisasi  $N = 1/3$ , dimana  $N_a = N_b = N_c$ , sedangkan pada bentuk silinder memiliki nilai  $N_a = N_b = 1/2$  dan  $N_c = \infty$ , dan untuk bidang datar mempunyai nilai  $N_a = N_b = 0$  dan  $N_c = 1$  (Hughes, 2000).

#### 2.6.4 Energi Zeeman

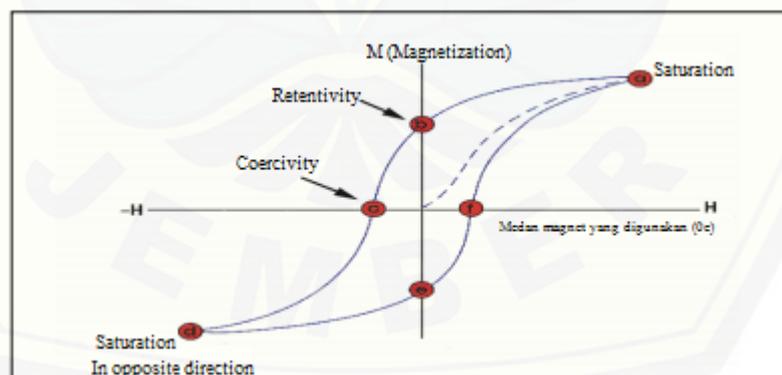
Energy Zeeman yaitu energi dengan bentuk energi yang berasal dari interaksi oleh medan vektor magnetisasi (momen magnet) dengan medan magnet luarnya  $H_{ext}$ , besar energi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$E_z = -\mu_0 \int \mathbf{H}_{ext} \cdot \mathbf{M} dV \quad (2.16)$$

Dimana,  $\mathbf{M}$  adalah magnetisasi dan  $\mathbf{H}_{ext}$  merupakan medan magnet eksternal yang diberikan oleh bahan magnetik. Energi Zeeman akan mempunyai nilai kecil pada arah magnetisasi searah dengan arah dari medan luar (Guimaraes, 2009).

#### 2.7 Kurva Histerisis

Bahan feromagnetik memiliki karakteristik yang cukup berbeda dari material bahan yang lainnya yaitu ketika diberikan sebuah gangguan medan luarnya ( $H$ ) spinya akan mensejajarkan terhadap medan luar. Kurva yang dihasilkan berbentuk loop histerisis dengan kondisi berada dibawah temperatur currie lebar kedua sisi loop histerisis sepanjang sumbu  $H$  disebut koersivitas ( $c$ ). Tinggi loop histerisis berada disepanjang sumbu  $M$  disebut dengan remanensi (Livingston, 1981).



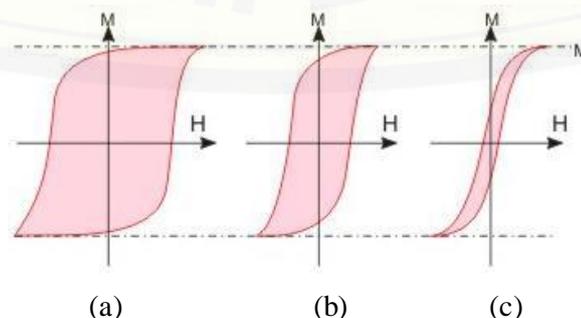
Gambar 2.10 Kurva histerisis bahan feromagnetik (Sumber : Livingston, 1981)

Intensitas dari magnet  $H$  akan diperbesar dari nol secara kontinu maka harga  $M$  akan mengikuti lengkungan magnetisasi sampai mencapai  $H$  maksimum. Nilai  $H$  yang diperkecil maka nilai dari  $M$  tidak akan mengikuti lengkungan magnetisasi semula, sehingga nilai  $H$  yang sama untuk nilai permeabilitas ada dua. Nilai

intensitas  $H = 0$ , untuk nilai  $M \neq 0$  (tetap ada), digunakan untuk menghilangkan  $M$  maka dibutuhkan intensitas magnetik balik ( $-H$ ) ke titik  $c$ . Nilai intensitas magnet balik diperbesar, maka magnetisasi  $M$  akan berubah arah balik ( $-M$ ) dan akan kembali ke titik awal (simetris) (Mardiansyah, 2013).

Kurva histerisis yaitu kurva karakterisasi kebergantungan dari magnetisasi ( $M$ ) terhadap  $H$ . Hasil yang didapatkan yaitu informasi tentang medan saturasi, remanensi dan koersivitas yang memiliki kaitan ketiganya dengan sifat bahan dalam penerapan medan magnetik dan medan listrik. Saturasi yaitu magnetisasi bahan yang mengalami sebuah perubahan sekalipun nilai dari medan koersivitasnya diperbesar (pada kondisi medan koersivitas tertentu bahan magnetisasi yang tidak berubah). Remanensi (sisa) yaitu magnetisasi sisa pada saat medan koersivitas magnetiknya ditiadakan ( $H=0$ ). Koersivitas yaitu ketahanan dari suatu bahan magnetik untuk mengubah magnetisasinya (Livingstone, 1981).

Kurva histerisis dapat dibedakan menjadi dua yaitu kurva histerisis *soft* magnetik dan kurva histerisis *hard* magnetik dari bahan material feromagnetik. Bahan magnetik lunak (*soft*) yaitu bahan magnetik yang mudah dimagnetisasi (*demagnetized*) sedangkan bahan magnetik permanen (*hard*) yaitu bahan magnetik yang sulit untuk dimagnetisasi. Bahan magnetik lunak akan menunjukkan bahwa *hysteresis loop* yang sempit ( $H_c < 0$  Oe), sedangkan pada bahan magnetik permanen akan menunjukkan bahwa *hysteresis loop* yang sangat luas dan mempunyai nilai koersivitas yang tinggi ( $H_c > 100$  Oe), untuk loop histerisis yang luas menunjukkan adanya energi magnetik yang dapat disimpan didalam bahan (Chauhan, 2010) dapat dilihat pada gambar 2.11

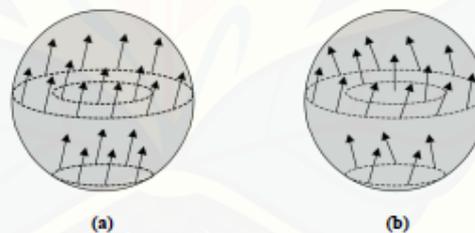


Gambar 2.11 Kurva histerisis hard magnetik dan soft magnetik  
(Sumber : Feynman *et al.*, 1963)

Gambar 2.11 (a) menunjukkan nilai magnetisasi  $M$  dan medan koersivitas yang besar dibutuhkan untuk bahan magnet permanen. Gambar 2.11 (b) merupakan daerah loop histerisis terkait dengan jumlah disipasi energi setelah adanya pembalikan medan magnet sebagai perekam magnetik. Gambar 2.11 (c) magnetisasi besar dan medan koersivitas kecil yang dibutuhkan sebagai transformator dan inti motor yang digunakan untuk meminimalkan energi disipasi dengan medan AC (Feynman *et al.*, 1963).

## 2.8 Mekanisme Pembalikan Magnetik

Mekanisme pembalikan magnetik ada dua macam yaitu model rotasi koheren (*coherent rotation*) yang terjadi secara seragam dan memiliki putaran secara serempak. Selama proses terjadinya pembalikan, spin-spin yang berada di dalam partikel akan selalu mempertahankan keadaan supaya tetap paralel antara satu dengan yang lainnya dilihat pada gambar 2.12 (a). Model pembalikan hanya terjadi pada struktur *single-domain* dan bisa disebut dengan partikel Stoner-Wohlfarth (Coey, 2009).



Gambar 2.12 Pembalikan magnetisasi partikel bahan magnetik bentuk bola  
(a) rotasi koheren (b) *curling* (Sumber : Skomski, 2008)

Model kedua dari pembalikan magnetik yaitu *curling*, dapat dilihat pada gambar 2.12 (b). Proses terjadinya pembalikan pada model kedua ini yaitu spin-spin dari partikel membentuk struktur *vorteks*. Model ini terjadi disebagian besar partikel magnetik berbentuk bola dengan mempunyai diameter diatas dari diameter kritis (Coey, 2009). Partikel-partikel yang berukuran besar memiliki kontribusi energi *exchange* lebih mendominasi dibandingkan energi magnetotastik, sehingga mekanisme dari pembalikan mode *curling* lebih ditentukan sistem dibandingkan dengan rotasi koheren (Skomski, 2008).

## 2.9 Microwave Assisted

Gelombang mikro (*microwave*) yaitu gelombang elektromagnetik dengan mempunyai frekuensi yang super tinggi (Super High Frequency, SHF ) dengan nilai 300 MHz-300 GHz. Penerapan *microwave* banyak digunakan sebagai point-point telekomunikasi dan gelombang mikro dapat digunakan dalam komunikasi pesawat ruang angkasa, TV dan alat komunikasi telepon yang ditransmisikan jarak jauh dengan *microwave* antara stasiun bumi dan satelit komunikasi. Gelombang mikro yang diserap oleh sebuah benda akan menimbulkan efek pemanasan pada benda tersebut. Penerapan yang lain dari gelombang mikro yaitu adanya pemanfaatan untuk radar yang digunakan untuk mencari dan menentukan jejak dari suatu benda dengan menggunakan gelombang mikro dengan nilai frekuensi sekitar  $10^{10}$  Hz (Akdeniz, 2007).

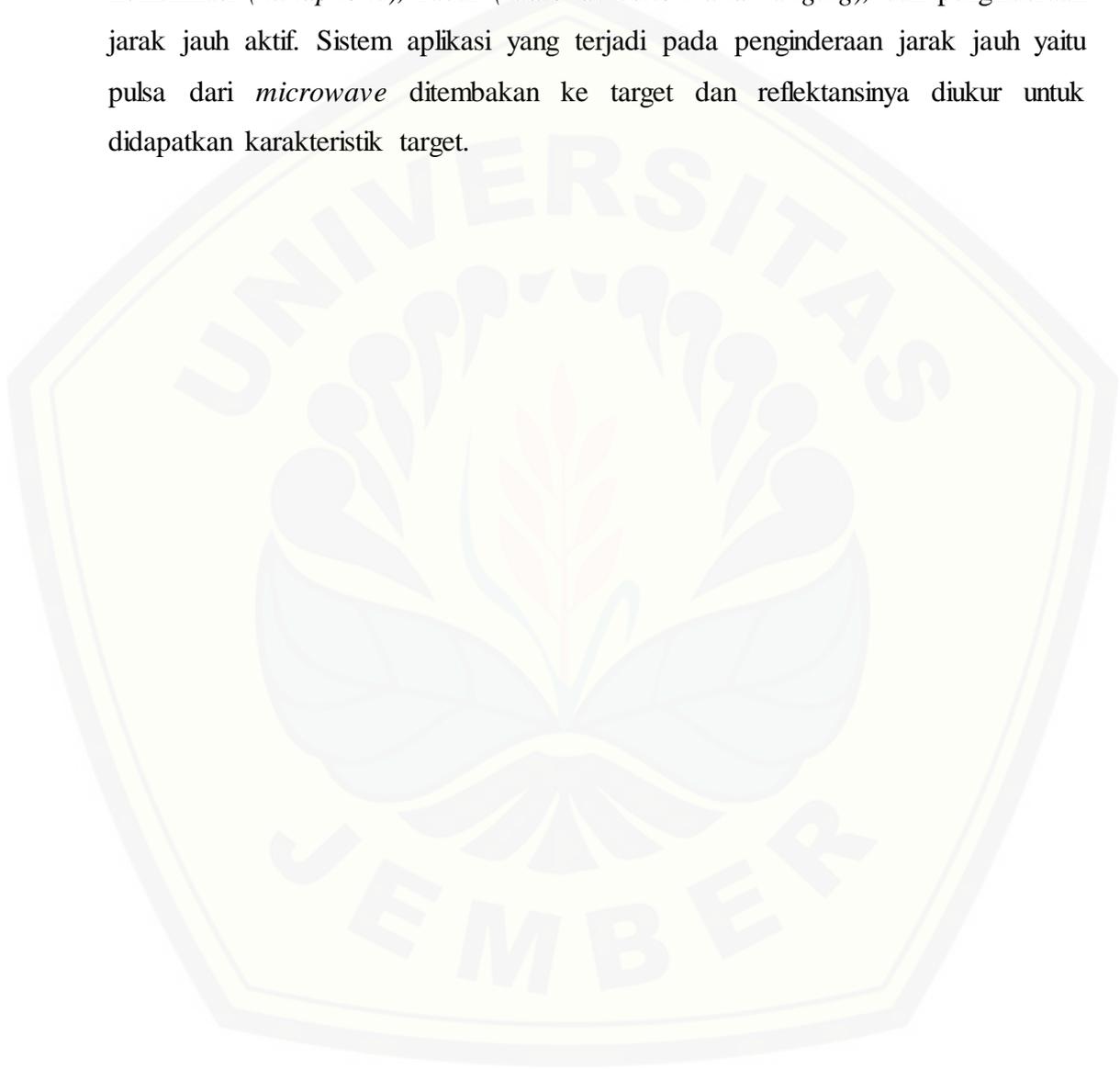
Bahan mikromagnetik yang dipengaruhi oleh *microwave assisted* sudah diteliti oleh Li *et al.* pada tahun 2008. Bahan mikromagnetik pada kondisi awal akan digetarkan secara konstan oleh medan *quasistatic*. Bahan yang bergetar akan memiliki frekuensi, jika *microwave* diterapkan pada bahan yang memiliki frekuensi yang sama seperti frekuensi bahannya, maka hal ini menunjukkan hasil resonansi feromagnetik. Akibat yang ditimbulkan yaitu magnetisasi bahan akan bergetar pada sudut maksimal dan medan koersivitas bahan akan memiliki nilai minimum (Li *et al.*, 2008).



Gambar 2.13 Lapisan tipis orientasi medan *quasistatic* dan medan *microwave* (Sumber : Li *et al.*, 2008)

*Microwave Assisted Magnetic Recording (MAMR)* dipatenkan oleh Rivki, N.T.K.A. Sistem MAMR terdiri dari sebuah elemen yang menghasilkan sebuah *radio frequency assist magnetic field* dan sebuah medium perekeam

(Nozaki *et al.*, 2006). Panjang gelombang yang dimiliki *microwave* yaitu sekitar 1mm-1m, jika *microwave* diserap oleh suatu benda akan terjadi efek pemanasan pada benda. Efek pemanasan ini dapat diterapkan pada alat-alat yang menggunakan *microwave*, seperti alat pemasak (*microwave oven*), alat komunikasi (*handphone*), radar (*radio detection and ranging*), dan penginderaan jarak jauh aktif. Sistem aplikasi yang terjadi pada penginderaan jarak jauh yaitu pulsa dari *microwave* ditembakkan ke target dan reflektansinya diukur untuk didapatkan karakteristik target.



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Komputasi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Alat-alat yang digunakan dalam simulasi mikromagnetik yaitu satu set perangkat komputer dengan spesifikasi minimum sebagai berikut :

*Processor* : Intel (R) Core TM i3-3240 CPU @3,40 GHz x 4

Sistem tipe : 64 *bit*

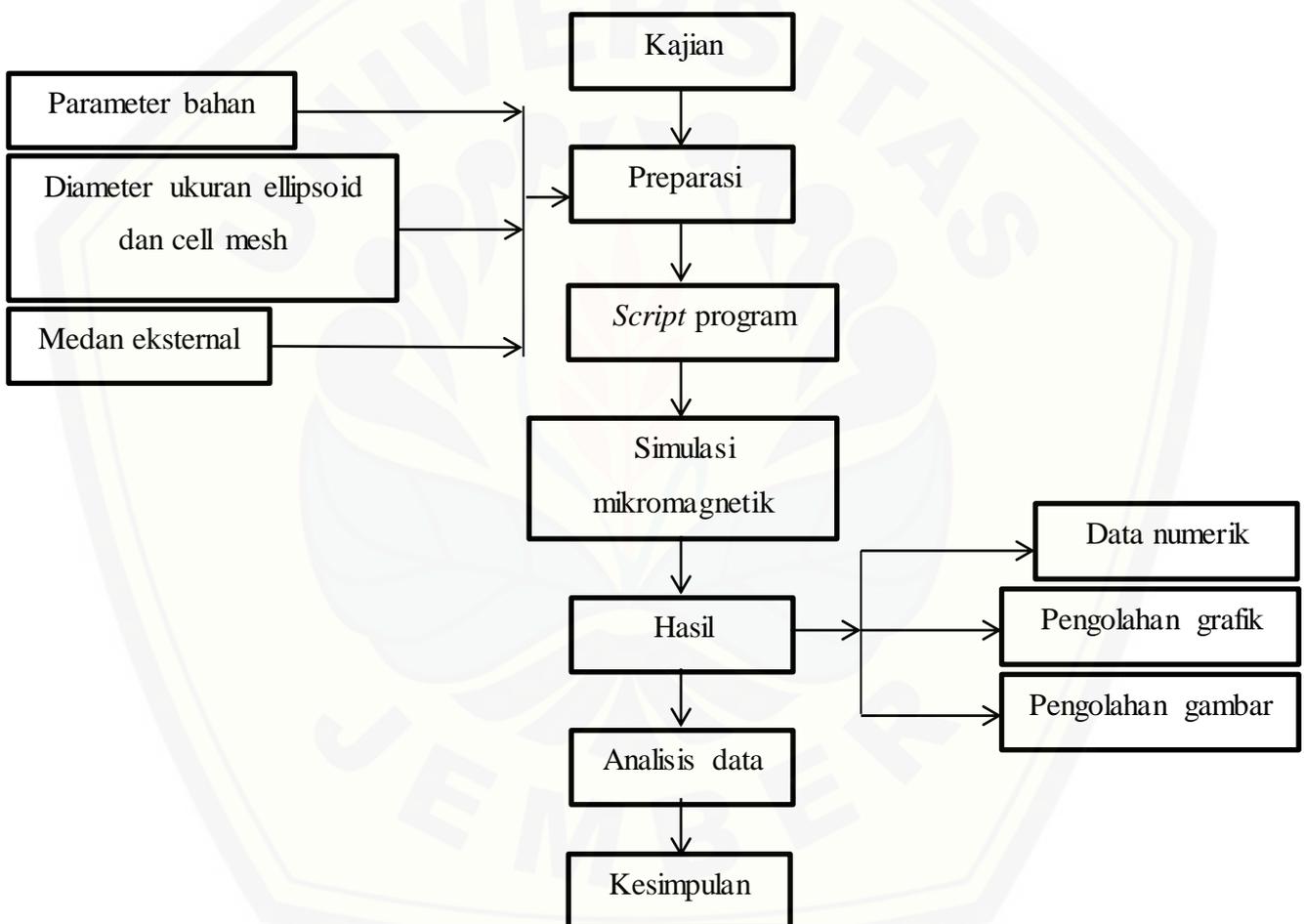
RAM : 4 GB

Sistem operasi : *windows 8*

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter bahan *alloy NiFe* dengan bentuk *ellipsoid* dan pengaruh medan eksternal atau *microwave assisted* terhadap medan koersivitas dari bahan *alloy NiFe* bentuk *ellipsoid* dalam kurva histerisis. Langkah pertama dalam melakukan penelitian ini dengan melakukan beberapa kajian pustaka sebagai acuan yang digunakan ketika melakukan penelitian. Kajian pustaka digunakan sebagai acuan yang berfungsi untuk perbandingan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini dengan penelitian sebelumnya.

Langkah selanjutnya preparasi atau persiapan sebelum menjalankan penelitian dengan menggunakan beberapa faktor, seperti penentuan parameter input variasi diameter bentuk *ellipsoid* dan *cell mesh* bahan *alloy NiFe*, serta pengaruh medan eksternal atau *koersivitas* tanpa tambahan *microwave assisted* dan tambahan yang dipengaruhi oleh *microwave assisted* dengan variasi amplitudo dan frekuensi. Parameter yang digunakan untuk bahan *alloy NiFe* meliputi magnetisasi saturasi, konstanta *exchange*, konstanta anisotropi, dan faktor redaman yang dimasukkan ke dalam *script program* yang digunakan. Langkah preparasi ini akan menentukan hasil yang diperoleh mengenai struktur domain dan medan eksternal yang sudah diinputkan ke dalam *script program* yang digunakan. *Script program* tersebut akan dijalankan dalam program simulasi mikromagnetik OOMMF yang akan diperoleh file output (.odt) setelah dirunning.

Hasil simulasi yang di dapatkan yaitu data numerik, pengolahan grafik dan pengolahan gambar yang nantinya digunakan untuk interpretasi hasil. Data numerik yang di dapatkan berupa diameter kritis struktur domain dan besar nilai medan koersivitas yang dipengaruhi oleh *microwave assisted* pada kurva histerisis. Pengolahan grafik yang didapatkan berupa gambaran atau profil rapat energi struktur domain yang dipengaruhi dari variasi diameter yang digunakan, serta profil energi dari pengaruh medan eksternal dengan tambahan pengaruh *microwave assisted*.



Gambar 3.1 Diagram alir simulasi penelitian

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis penelitian yang dilakukan yaitu simulasi mikromagnetik untuk menganalisis struktur domain dan kurva histerisis yang dipengaruhi medan eksternal dengan tambahan, *microwave assisted*. Data yang didapatkan berupa

data kuantitatif dari hasil analisis struktur domain berupa diameter kritis pada bahan NiFe dengan ukuran yang sudah ditentukan serta kurva histeris dari pengaruh medan eksternal dengan tambahan *microwave assisted* dan tanpa adanya tambahan *microwave assisted*. Hasil kurva histerisis menunjukkan data dari nilai medan eksternal yang mempengaruhi magnetisasi ternormalisasi, medan koersivitas dipengaruhi oleh variasi amplitudo dan frekuensi terhadap rapat energi yaitu energi total, energi demagnetisasi, dan energi *exchange*. Sumber data input yang digunakan dalam simulasi yaitu berupa data sekunder yang didapatkan dari beberapa referensi, yang sudah digunakan dari penelitian sebelumnya.

Tabel 3.1 Parameter bahan permalloy NiFe sebagai input data simulasi mikromagnetik

Bahan Alloy	Ms (A/m)	K (J/m <sup>3</sup> )	A (J/m)	Konstanta damping	I <sub>ex</sub> (nm)
Lapisan Tipis NiFe	$8 \times 10^5$	$5 \times 10^3$	$1.3 \times 10^{-11}$	0.05	5.6

Sumber : Indrawati dan Suharyadi (2014)

### 3.3 Definisi Operasional Variabel

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang berbentuk apa saja yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga didapatkan informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiyono, 2016). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa variabel bebas, variabel terikat dan variabel kontrol.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi ukuran diameter, variasi amplitudo dan frekuensi.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat yang ada pada penelitian ini adalah

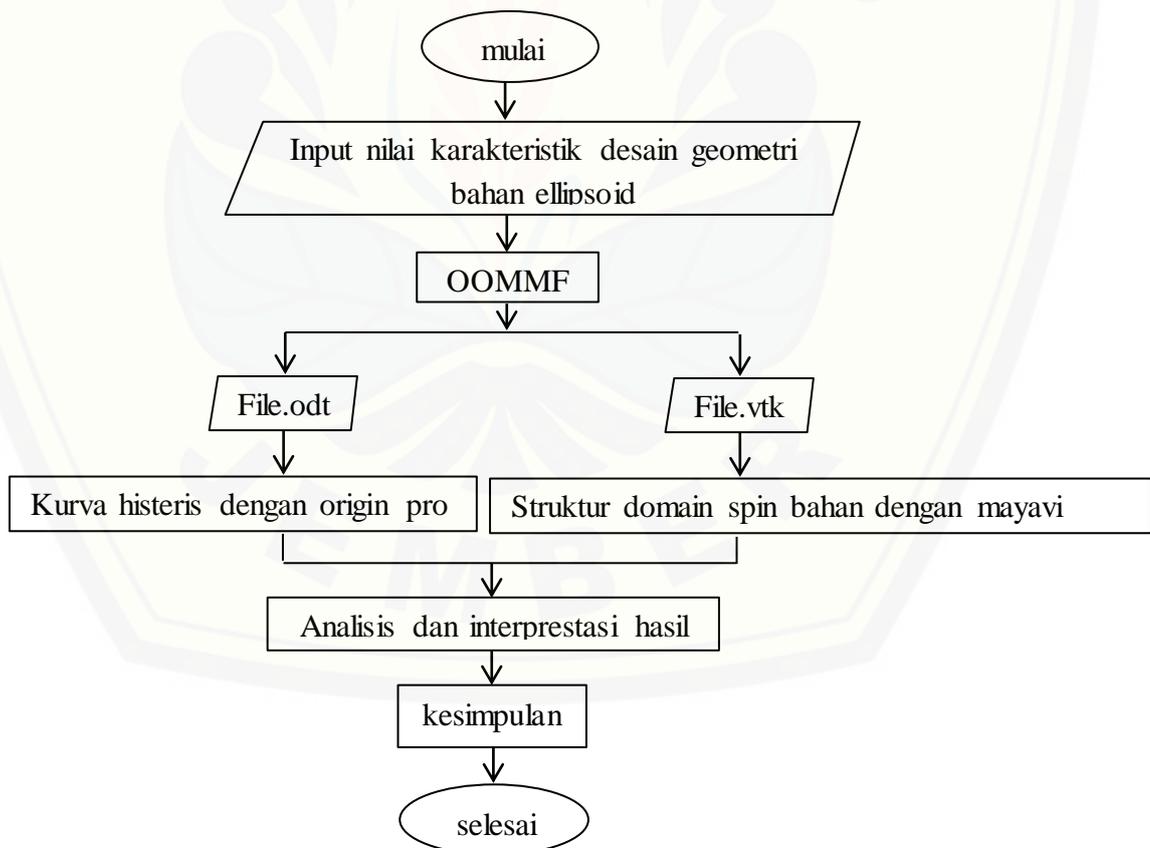
struktur domain yang meliputi *single domain* dan *multi domain*, profil rapat energi dan medan koersivitas dalam kurva histerisis.

### 3.3.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat sama atau faktor lain diluar perlakuan yang dikenakan pada objek penelitian. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu struktur kristal dengan faktor redaman  $\alpha = 0.05$  dan konstanta anisotropi. bahan magnetik yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan *alloy* NiFe dengan bentuk geometri *ellipsoid*.

### 3.4 Kerangka Penyelesaian Masalah

Penelitian yang dilakukan secara umum digambarkan dalam diagram alir penelitian pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram alir tahapan penelitian simulasi mikromagnetik

### 3.5 Prosedur Kerja

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan software OOMMF (*Object Oriented Micromagnetic Framework*) yang dijalankan pada sistem operasi Windows. *Software* lain yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah Maya Vi dan Origin Pro sebagai visualisasi pada hasil simulasi yang digunakan. Kedua *software* simulasi mikromagnetik ini digunakan untuk menganalisa mengenai struktur domain dan pengaruh dari medan eksternal dengan tambahan *microwave assisted* terhadap bahan *alloy* NiFe.

Langkah pertama dalam penelitian ini yaitu dengan melakukan kajian pustaka untuk kajian acuan sebagai teori. Kajian pustaka ini digunakan untuk menentukan parameter input bahan yang dibutuhkan dalam simulasi mikromagnetik. Parameter-parameter bahan yang digunakan antara lain magnetisasi saturasi, konstanta anisotropi, konstanta *exchange* dan faktor redaman (efek *damping*). Parameter ini digunakan simulasi mikromagnetik pada *software* OOMMF, sedangkan parameter lain yang digunakan adalah variasi ukuran geometri (diameter bahan).

Parameter yang sudah ditentukan akan dirunning dengan menggunakan *software* OOMMF yang menghasilkan file output berupa data .odt dan .vtk. File data output .odt akan digunakan untuk membuat grafik profil rapat energi pada *software* Origin Pro yaitu energi demagnetisasi, energi total, dan energi *exchange*. File data output .vtk digunakan sebagai visualisasi pada domain bahan di *software* Maya Vi untuk menggambarkan struktur domain pada diameter tertentu. Analisis data dilakukan pada diameter yang termasuk *single* domain dan multi domain, namun apabila tidak sesuai dengan teori atau jauh dari analisa akan dimulai dari awal kembali. Hasil analisa dari interpretasi nantinya dapat disimpulkan.

Langkah selanjutnya dengan melakukan pembentukan kurva histerisis sebagai analisis dari pengaruh medan eksternal, sehingga dapat memberikan informasi tentang medan koersivitas yang dipengaruhi oleh medan eksternal tambahan yaitu *microwave assisted*. Parameter yang sudah ditentukan untuk membentuk kurva histerisis yaitu magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), konstanta anisotropi ( $K$ ), konstanta *exchange* ( $A$ ), faktor redaman  $\alpha$  (*damping* LLG), dan ukuran

diameter bahan. Parameter tersebut dirunning dalam *software* OOMMF yang menghasilkan data output .odt digunakan sebagai pembentukan kurva histerisis pada *software* Origin Pro, sedangkan untuk data output .vtk akan digunakan sebagai visualisasi kurva histerisis di *software* Mya Vi dengan memberikan informasi adanya pembalikan magnetisasi. Hasil running dilakukan analisis dan interpretasi dari pengaruh medan eksternal dengan adanya tambahan *microwave assisted* atau tanpa adanya tambahan. Profil rapat energi meliputi energi demagnetisasi, energi total dan energi *exchange*, namun jika tidak mengalami perubahan maka akan dimulai dari awal sehingga hasil analisa dapat disimpulkan.

### 3.6 Metode Analisa

Metode analisa yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

#### 3.6.1 Analisa Pengaruh Variasi Ukuran Bahan Terhadap Struktur Domain Bahan Alloy NiFe

Hasil penelitian ini akan menghasilkan struktur domain dengan variasi nilai diameter. Desain ukuran diameter yang digunakan merupakan diameter yang panjang untuk mencari diameter kritis dengan memvariasi dari ukurannya yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.2 Desain variasi ukuran diameter bahan NiFe *ellipsoid*

No.	X (nm)	Y (nm)	Z (nm)
1.	10	5	5
2.	20	10	10
3.	30	15	15
4.	40	20	20
5.	50	25	25
6.	60	30	30
7.	70	35	35
8.	80	40	40
9.	90	45	45
10.	100	50	50

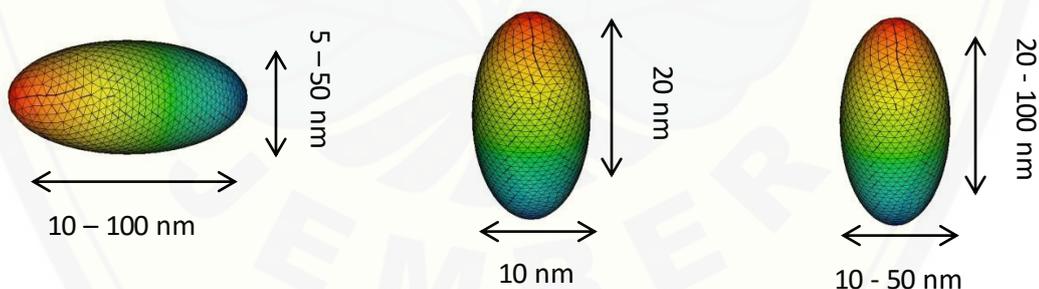
Desain ukuran yang digunakan untuk mencari kurva histerisis adanya pengaruh tambahan dan tanpa adanya pengaruh tambahan *microwave assisted*

dengan menggunakan diameter sebesar  $(10 \times 10 \times 20) \text{ nm}^3$ . Desain ukuran ini untuk menentukan struktur *single domain* dan *multi domain*. Bentuk kurva histerisis dengan *microwave assisted* akan menggunakan Amplitudo (100;1000) dalam satuan mT dan frekuensi sebesar (20;200) dalam satuan GHz. Diameter yang digunakan untuk mencari kurva histerisis dengan menggunakan *microwave assisted* sebagai berikut :

Tabel 3.3 Desain ukuran diameter digunakan dalam kurva histerisis dengan *microwave assisted*

No.	X (nm)	Y (nm)	Z (nm)
1.	10	10	20
2.	20	20	40
3.	30	30	60
4.	40	40	80
5.	50	50	100

Simulasi mikromagnetik yang telah dilakukan dengan bahan feromagnetik NiFe bentuk *ellipsoid* dengan variasi ukuran diameter yang telah ditentukan. Rancangan bahan pada penelitian bahan NiFe ditampilkan pada gambar berikut ini.



Gambar 3.3 Rancangan ukuran menggunakan *microwave assisted*

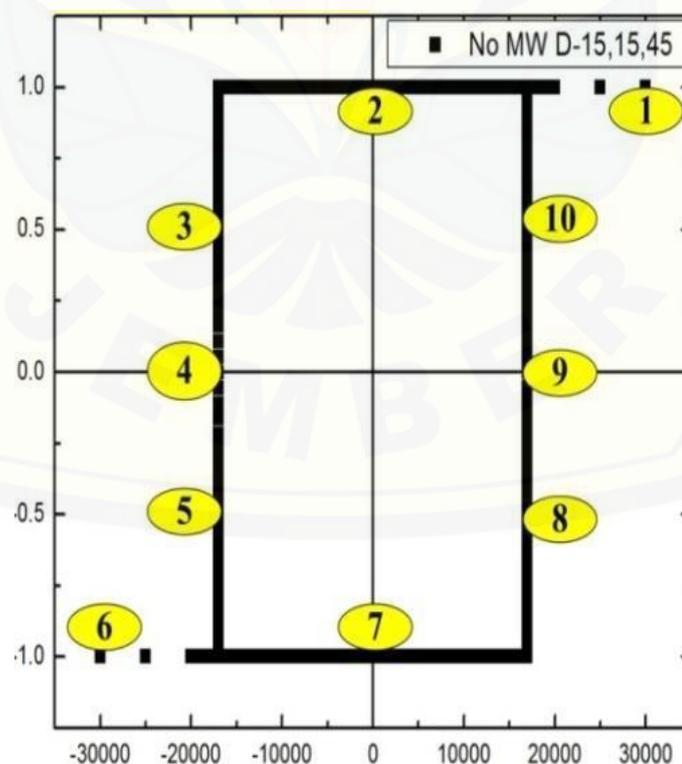
Diameter kritis yang didapatkan dengan prediksi perhitungan teori sebesar 40,3816 nm dengan menggunakan persamaan Brown pada persamaan 2.1. Diameter kritis dapat diketahui dengan adanya spin tidak sejajar yang menjadi acuan adanya struktur *single domain* dan struktur *multi domain* dari simulasi yang dilakukan. Struktur *single domain* untuk diameter kritis akan berada dibawah dan menunjukkan spin sejajar, *single domain* berada dibawah diameter kritis sebesar

40,3816 nm sesuai dengan perhitungan teori yaitu 10 nm, 20 nm, 30 nm dan akan menunjukkan spin yang sejajar.

Struktur *multi domain* akan berada diatas diameter kritis 40,3816 nm yaitu 50 nm, 60 nm, 70 nm, 80 nm, 90 nm, dan 100 nm menunjukkan spin yang tidak sejajar. Kedua struktur akan mengalami perubahan seiring bertambahnya diameter, karena profil energi yang terbagi menjadi struktur *single domain* dan *multi domain*.

### 3.6.2 Analisa Kurva Histerisis

Analisa kurva histerisis dapat dibentuk dengan menggunakan input file .odt hasil simulasi OOMMF dikolom O atau urutan ke 15 yang merupakan  $O_{xs\_Uzeeman}::Bz$  digunakan sebagai sumbu x dan pada kolom V atau urutan ke 22 merupakan  $O_{xs\_TimeDriver}::magnetization$  sebagai sumbu y yang dijalankan pada *software* Origin Pro. Ukuran *cell mesh* yang digunakan dalam simulasi ini yaitu 5 nm untuk menyesuaikan arah sumbu domainnya.

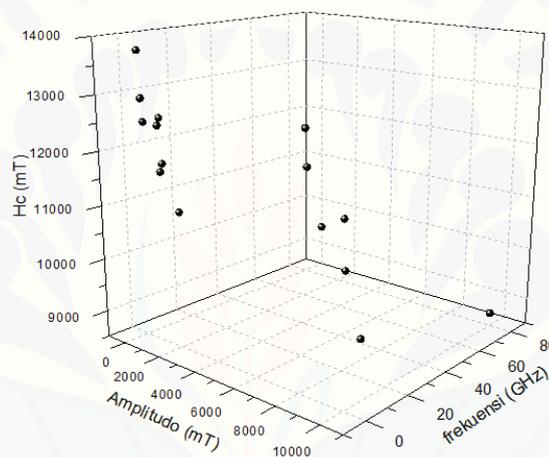


Gambar 3.4 Kurva histerisis medan eksternal (Sumber : Nagara, 2016)

### 3.6.3 Analisa Frekuensi dan Amplitudo Terhadap Medan Koersivitas

Pengaruh *microwave assisted* dengan menggunakan variasi dari frekuensi dan amplitudo yang digunakan. Frekuensi dan amplitudo yang digunakan sesuai dengan ukuran diameter dan dimensi bahan yang digunakan, frekuensi yang digunakan yaitu 20 dan 200 dalam satuan GHz sedangkan amplitudo yang digunakan yaitu 100 dan 1000 dalam satuan mT sesuai dengan variasi yang digunakan. Nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) didapatkan dari kurva histerisis dengan menggunakan persamaan

$$H_c = \frac{(H_x \text{ terbesar} - H_x \text{ terkecil}) \text{ pada posisi sumbu } y = 0}{2}$$

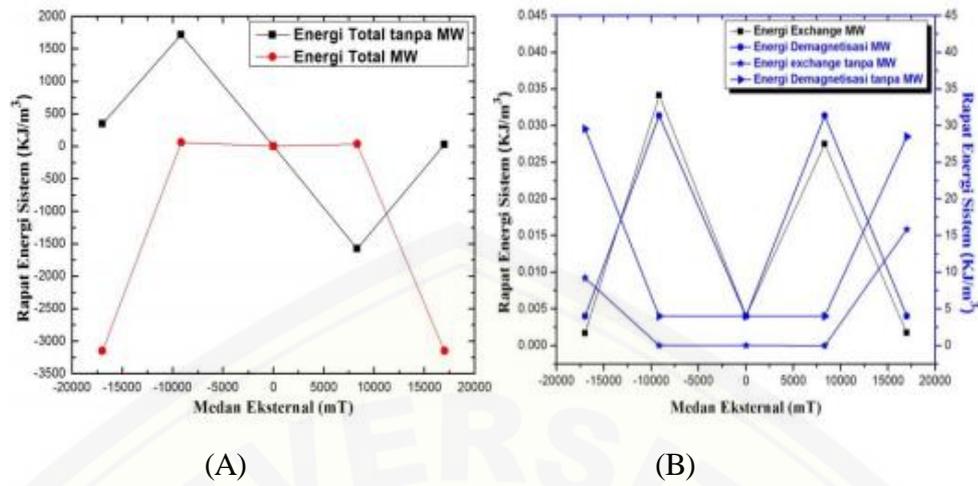


Gambar 3.5 Kurva pengaruh *microwave assisted* dengan menggunakan variasi frekuensi dan amplitudo terhadap medan koersivitas (Sumber: Nagara, 2016)

pengaruh *microwave assisted* dari variasi frekuensi dan amplitudo akan menunjukkan bahwa semakin besar nilai frekuensi dan amplitudo maka nilai medan koersivitas akan semakin menurun nilainya.

### 3.6.4 Analisa Kurva Medan Eksternal dengan *Microwave Assisted* dan Tanpa *Microwave Assisted* Terhadap Energi Sistem

File output yang dihasilkan berupa file .odt dapat digunakan untuk menganalisa pengaruh dari *microwave assisted* dengan berdasarkan selisih dari energi sistem antara menggunakan pengaruh *microwave assisted* dan tanpa adanya pengaruh *microwave assisted*.



Gambar 3.6 Kurva medan eksternal terhadap variasi energi sistem (A) energi total, (B) energi *exchange* dan demagnetisasi

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian identifikasi struktur domain bahan NiFe dan pengaruh *microwave assisted* menggunakan simulasi mikromagnetik sebagai berikut:

1. Nilai diameter kritis bahan NiFe bentuk *ellipsoid* yaitu pada ukuran 40 nm. Daerah struktur *single domain* terletak pada diameter 10 nm, 20 nm, 30 nm sedangkan struktur *multi domain* terletak pada diameter 50 nm sampai 100 nm. Hal ini diperkuat adanya profil energi sehingga dapat diketahui nilai ukuran diameter yang dapat diterapkan dalam pembuatan HDD.
2. Pengaruh medan eksternal dengan tambahan *microwave assisted* medan koersivitas yang terbentuk dengan variasi frekuensi dan amplitudo akan membantu nilai medan koersivitas yang terbentuk semakin kecil. Medan eksternal tanpa *microwave assisted* membutuhkan rentang medan yang lebar untuk melakukan proses pembalikan magnetisasi, sedangkan adanya pengaruh *microwave assisted* membantu proses pembalikan magnetisasi bahan semakin cepat sehingga dapat kembali menjadi bahan feromagnetik.

### 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan observasi terlebih dahulu tentang bahan yang digunakan terkait dengan ukuran yang akan digunakan dalam simulasi. Tujuan observasi diharapkan simulasi yang dilakukan tidak terhambat oleh lamanya *runing* dan memori PC yang tidak mencukupi dalam penyimpanan hasil dari *running* simulasi. Diameter bahan yang digunakan untuk menentukan diameter kritis bisa diperkecil sesuai dengan nilai diameter kritis menurut persamaan Brown dan mendapatkan hasil yang lebih rinci. Pengaruh *microwave assisted* yang digunakan untuk menentukan besar nilai medan koersivitas diharapkan mengambil rasio terdekat untuk variasi frekuensi maupun amplitudo untuk mendapatkan hasil yang lebih rinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto P. Guimarães. 2009 Principles of Nanomagnetism. Springer:Rio de Janeiro,.
- Akdeniz, Y. Dan S, Ulku. 2007. *Microwave Effect on Ion-Exchange and Structure of Clinoptilolite*. *Jurnal Porous*. 14 : 55-60.
- Billah, A. 2006. Pembuatan dan Karakteristik Magnet Stronsium Ferit dengan Bahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Semarang : Universitas Negeri Semarang. FMIPA.
- Boardman, R. P., Fangohr, H., Cox, S. J., Goncharov, A. V., dan Zhukov, A. A. 2004. *Micromagnetic Simulation of Ferromagnetic Part-spherical Particles*. *J. Appl. Phys.* 95, 7037.
- Budi P., Nurosyid F., Abraha K, dan Sudjatmoko. 2004. Analisis Sifat Listrik dan Magnetik Lapisan Tipis Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> Hasil Deposisi Sputtering Sebagai Bahan Dasar Sensor Magnet. *Majalah IPTEK*. 15(2). 55-60.
- Butler, Robert F. and Banerjee, S. K. 1975. *Theoretical single-domain grain size range in magnetite and titanomagnetite*. *Jurnal Geophysical Research*.
- Chaudhary, R, dan A. Kansal. 2015. *A perspevtive on the future of the magnetic hard disk drive (HDD) technology*. *International Journal of Technical Research and Application*. 3(3): 63-74.
- Chauhan, P. 2010. *Preparation and Characterization of Barium Heksaferit by Barium Hexaferrite by Barium Monoferrite*. *Jurnal Patiala*.
- Coey, J. M. D. 2009. *Magnetism and Magnetic Materials*. United State of America : Cambridge University Press.
- Diandra L. Leslie-Pelecky. 1996. *Magnetic Properties of Nanostructured Materials*. *Chem Mater*. 8(8). 1770-1783.

- Getzlaff, M. 2008. *Fundamentals of Magnetism*. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Guimaraes, A. P. 2009. *Principle of Nanomagnetism*. Springer-Rio de Janeiro.
- Hasan. 2008. Studi Sifat Magnetik Alloy Fe<sub>97-x</sub>Si<sub>3</sub>Al<sub>x</sub> (x=4.5 dan 6% at). *Tesis*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.
- Hughes, G. F. 2000. *Patterned Media Write design*. IEEE Trans. Magn. 36.
- Ida, N. 2004. *Engineering Electromagnetics Second Edition*. USA: Springer
- Indrawati, A. dan Edi, S. 2014. Studi Pengaruh Bentuk Terhadap Pergeseran Domain Wall Magnetik pada Lapisan Tipis Permalloy. *Jurnal Sains*. 2 (1) : 264-267.
- Jannah, F.E. 2006. Karakteristik Lapisan Tipis Alloy NiFe Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Cu dan ITO. *Skripsi*. Solo : Universitas Sebelas Maret.
- John, J. dan Soo Yi, K. 2009. *Solid State Physics*. New York : Springer.
- Li, P., Yang, X, dan Cheng, X. 2008. *Micromagnetik Simulation of Microwave Assisted Switching in Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub> Thin Film Element*. Wuhan : Huazhong University of Science & Technology.
- Livingston, J. D. 1981. *Physics Status Solidi*. New York : Churchill.
- Mahardika, P. 2008. Kajian Sifat Magnetik Magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Hasil Penumbuhan Dengan Metode Presipitasi Berbahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Bandung: Fisika, FMIPA, ITB.
- Mangonon, P. L. 1999. *The Principle of Materials Selection for Engineering Design*. Printice Hall International, Inc. Hal 29-81.

- Mardiansyah, D. 2013. Analisa Sifat Feromagnetik Material Menggunakan Metode Monte Carlo. *Jurnal*. Pekanbaru.
- Mardona. 2012. Dinamika Domain Wall dan Efek Anisotropi pada Material Feromagnet Co dan Ni Berbentuk Nanowire. *Tesis*. Jakarta: Universitas Jakarta.
- Merlinda, L. 2017. Simulasi Pengaruh Sudut Datang Medan Magnet Luar Terhadap Bentuk Kurva Histerisis Permalloy (NiFe) Feromagnetik. *Skripsi*. Jember : Fisika FMIPA Universitas Jember.
- Mukhopadhyay, Ankan. 2015. Measurment of Magnetic Hysteresis Loops in Continuous and Patterned Ferromagnetic Nanostructures by Static Magneto-Optical Kerr Effect Magnetometer.
- 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. *Nanocrystal Fe-Pt Alloys : Phase Transformations, Structure an Magnetism*. *Disertasi*. Russland Magister der Physik Julia Vladimirovna Lyubina.
- Nicola, A. S. 2011. *Magnetic Materials Fundamentals and Applications*. Cambridge : cambridge University Press.
- Nozaki, N., Miyake, T., K. Uchitomi, M. Y. Zhang, I. Kono, H. Sammoto and K. Inagaki. 2006. *Effect of The Principal Nutrients on Lovastatin Production by Monascus Pilosus*. *Jurnal*. Bioscience Biotechnology Biochemistry Vol 70 (5) : 1154-1159.
- Putu, R. K. 2010. Bahan Isolasi Keramik. *Skripsi*. Denpasar : Universitas Udayana.
- R. P. Feynman. 1963. *Lecture on Physics*. California : California Institute of Technology.

Rao, C., P. Thomas, J. Kulkarni. 2007. *Nanocrystal : Synthesis, Properties and Application. Jurnal.* New York : Springer.

Singh, Jasprit. 2003. *Semiconductor Optoelectronics Physics and Technology.* Cambridge : University Press.

Skomski, R. 2008. *Simple Models of Magnetism.* Oxford University Press.

Smith, W. F. 1993. *Foundation of Materials of Science and Engineering.* USA : Prentice Hall. Smith, W. F. 1993. *Foundation of Materials of Science and Engineering.* USA : Prentice Hall.

Speckmayer, Peter. 2004. Electron Microscopy and Micromagnetic Simulation of FePt and CoPt Nanoparticles. *Jurnal.* Wien : Technische Universität Wien.

Stoner, E. C. and Wohlfarth, E. P. 1948. *A mechanism of magnetic hysteresis in heterogeneous alloys.* Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences.

Sudjatmoko, 2005. Kajian Sifat Bahan Lapisan Tipis Feromagnetik  $Ni_xFe_{1-x}$  Hasil Deposisi dengan Teknik Evaporasi. Hampa Prosiding. Yogyakarta : Puslitbang Teknologi Maju. ISSN 0216-3128.

Sugiyono. 2016. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. *Jurnal.* Bandung : PT Alfabet.

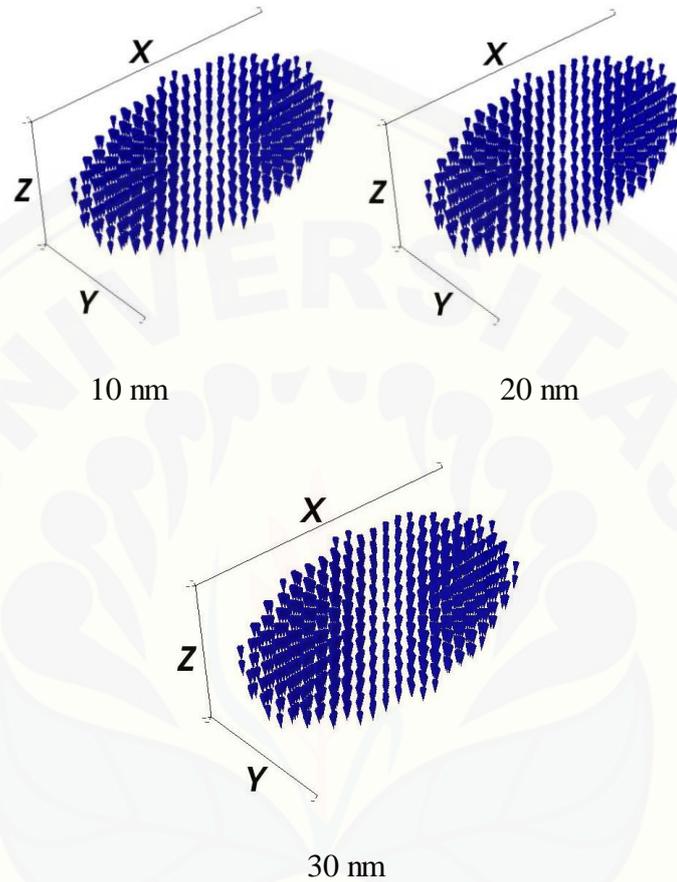
Veronica, Lacovaci., et al. 2016. Magnetic Field-Based Technologies For Lab-On-a-Chip Application. Italy : Intech.

Widodo, T. A. 2013. Studi Mikromagnetik Dinamika Struktur Domain pada Material Feromagnetik Py, Ni, Fe, dan Co Model Nanosphere. *Tesis.* Depok : Universitas Indonesia.

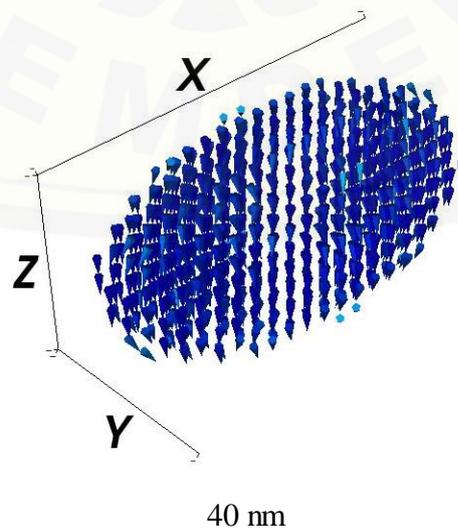
<http://math.nist.gov/oommf/otherlinks.html>. Donahue, M. J. dan Porter, D. G. 2002. *OOMMF user's Guide.* Diakses pada tanggal 04 Februari 2019.

LAMPIRAN

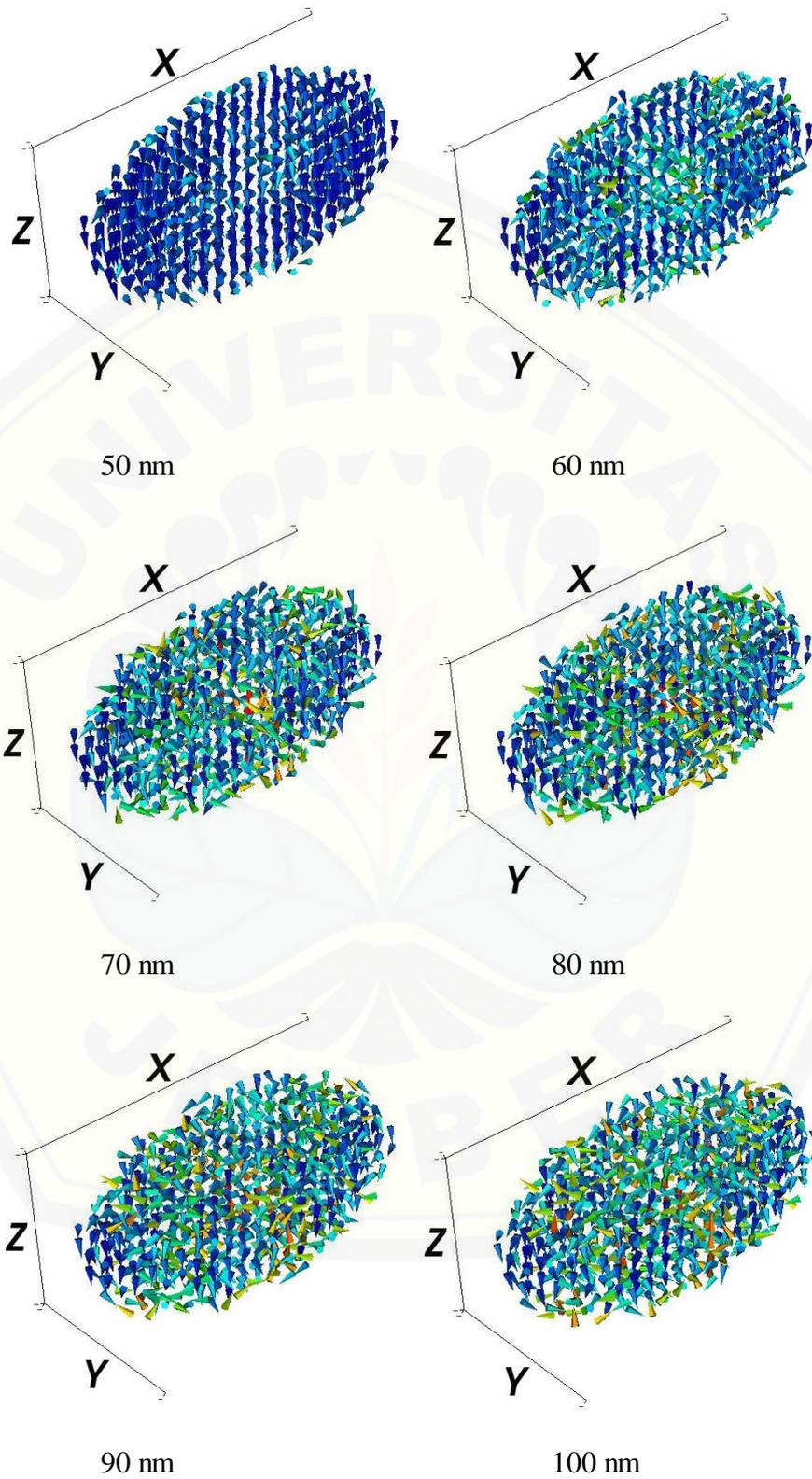
Lampiran 1. Struktur *single domain* bahan NiFe bentuk *ellipsoid*



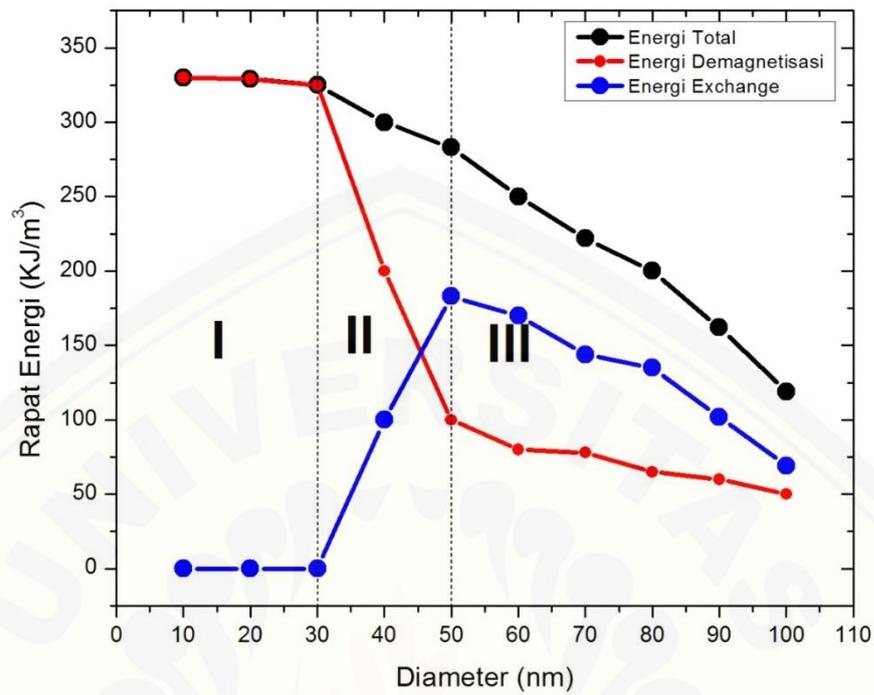
Lampiran 2. Diameter kritis atau transisi bahan NiFe bentuk *ellipsoid*



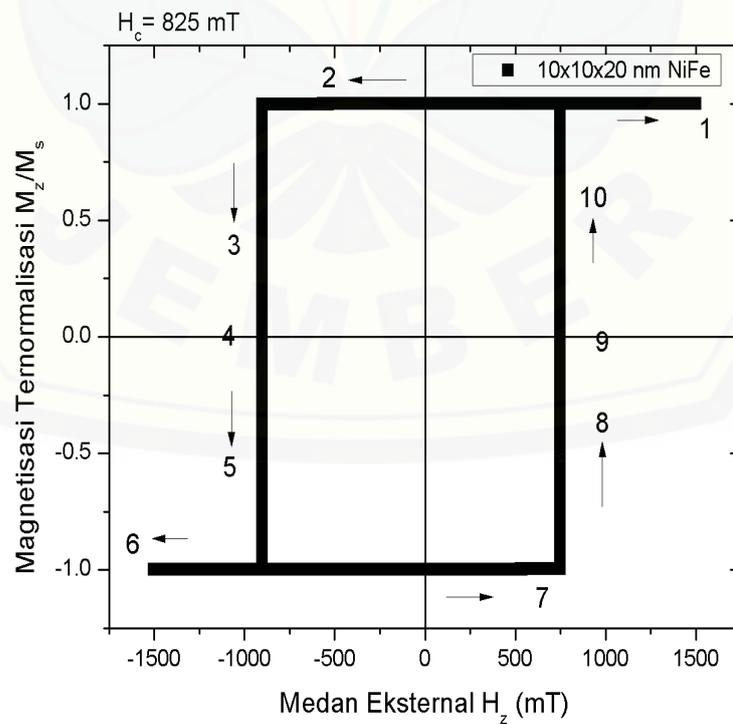
Lampiran 3. Struktur *multi domain* bahan NiFe bentuk *ellipsoid*

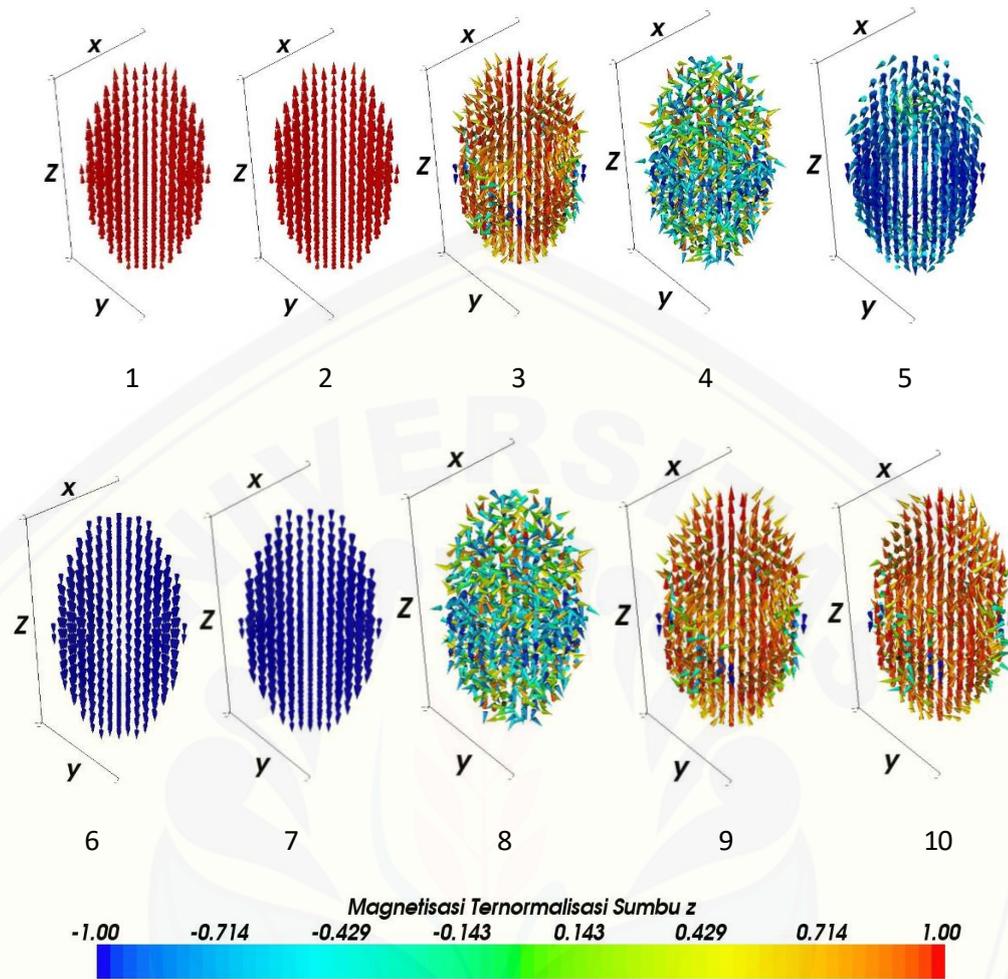


Lampiran 4. Profil rapat energi struktur domain diameter bahan NiFe

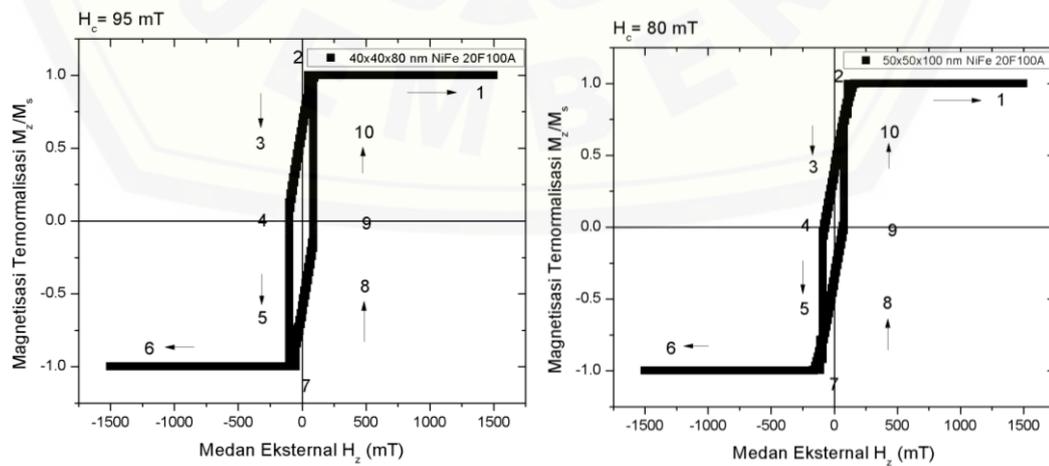


Lampiran 5. Kurva histerisis tanpa pengaruh *microwave assisted* dan struktur *single domain* bahan NiFe bentuk *ellipsoid*

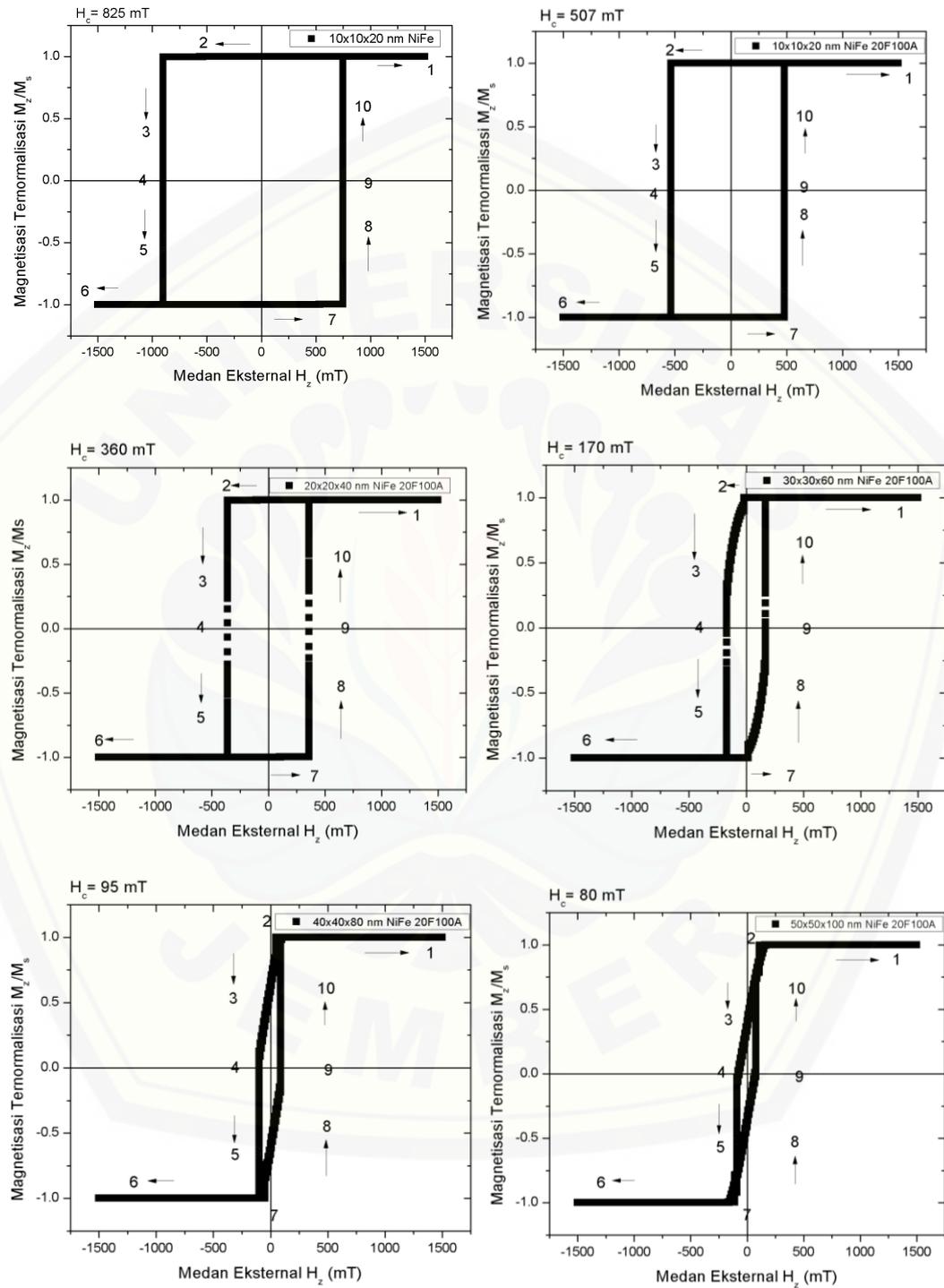




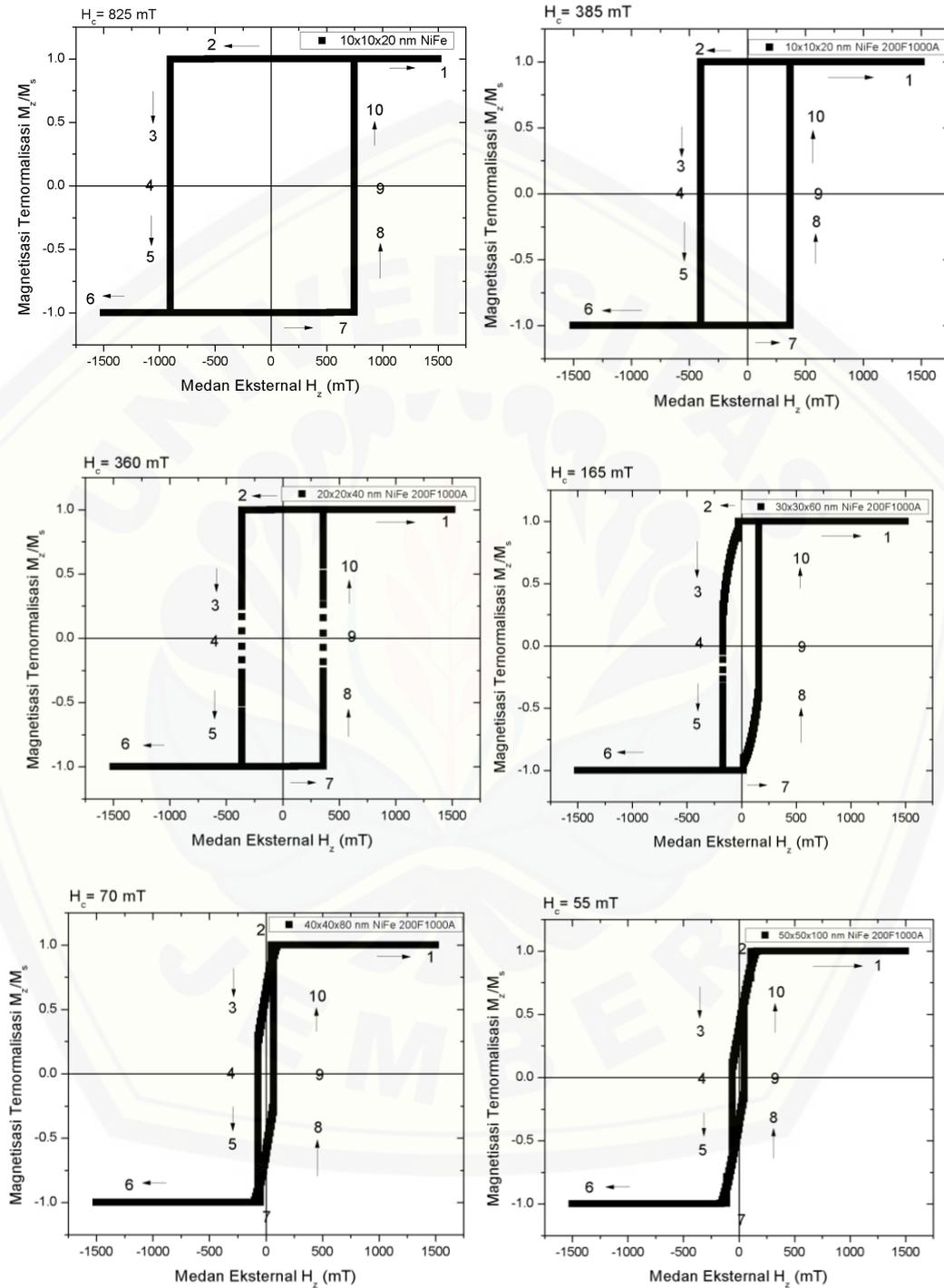
Lampiran 6. Kurva histeresis transisi atau diameter kritis dan struktur *multi domain*



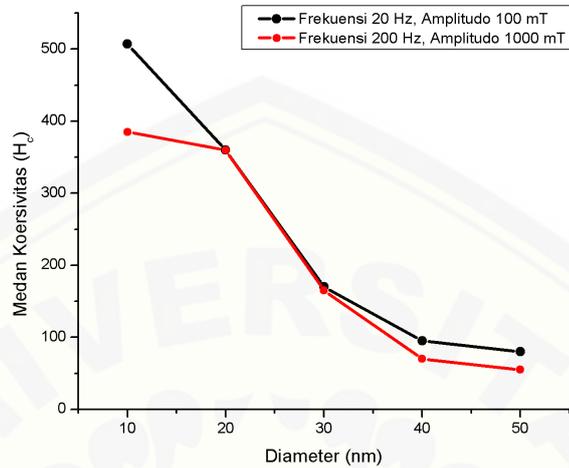
Lampiran 7. Kurva histerisis pengaruh *microwave assisted* dengan variasi frekuensi 20 GHz dan amplitudo 100 mT



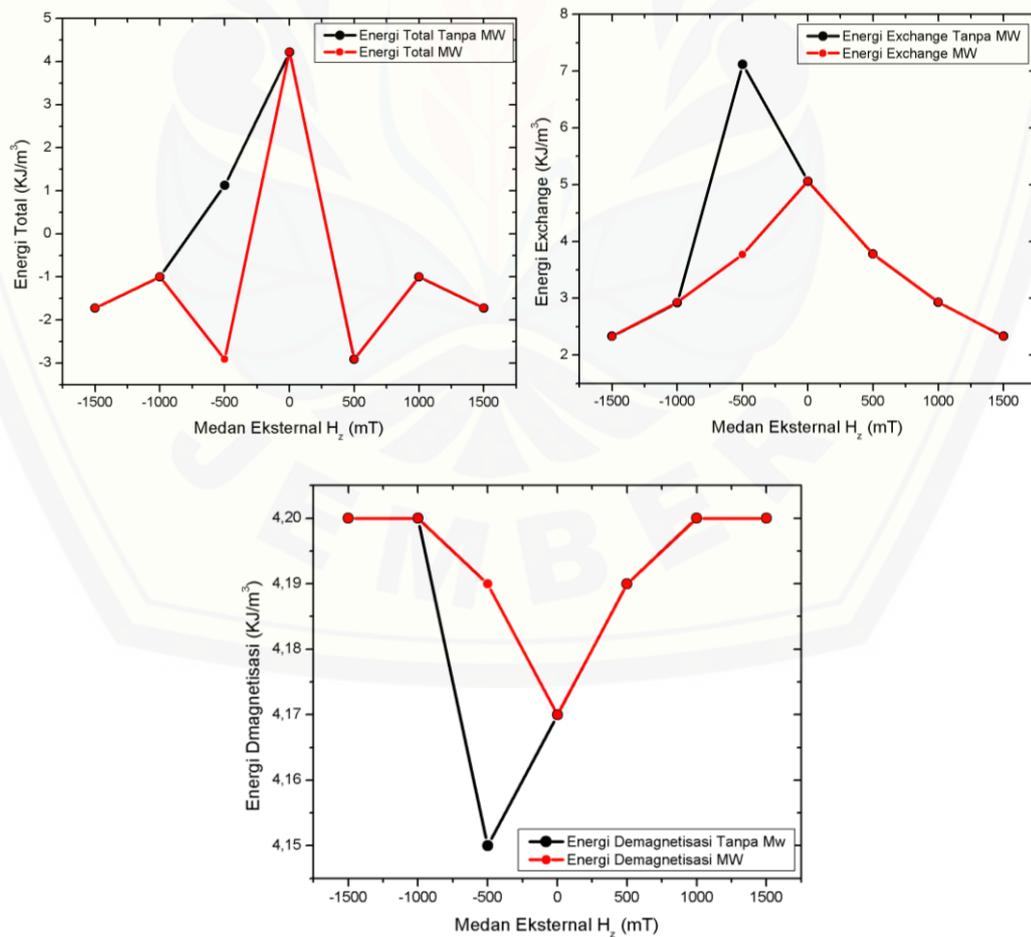
Lampiran 8. Kurva histerisis pengaruh *microwave assisted* dengan variasi frekuensi 200 GHz dan amplitudo 1000 mT



Lampiran 9. Grafik hubungan diameter bahan NiFe terhadap medan koersivitas pengaruh *microwave assisted*



Lampiran 10. Profil energi hubungan medan eksternal terhadap rapat energi



Lampiran 11. Script yang digunakan untuk struktur domain masing-masing ukuran diameter bahan NiFe bentuk *ellipsoid*

```
1 # MIF 2.1
2
3 set pi [expr 4*atan(1.0)]
4 set mu0 [expr 4*$pi*1e-7]
5
6 Specify Oxs_BoxAtlas:atlas {
7   xrange {0 10e-9}
8   yrange {0 5e-9}
9   zrange {0 5e-9}
10 }
11
12 Specify Oxs_RectangularMesh:mesh {
13   cellsize {50e-10 50e-10 50e-10}
14   atlas :atlas
15 }
16
17 Specify Oxs_UniaxialAnisotropy {
18   K1 5000
19   axis {0 0 1}
20 }
21
22 Specify Oxs_UniformExchange:NiFe {
23   A 1.3e-11
24 }
25
26 Specify Oxs_UZeeman [subst {
27   multiplier [expr 0.001/$mu0]
28   Hrange {
29     { 0 0 2000 0 0 2000 0 }
30     { 0 0 1500 0 0 500 100 }
31     { 0 0 500 0 0 200 30 }
32     { 0 0 200 0 0 -200 40 }
33     { 0 0 -200 0 0 -500 30 }
34     { 0 0 -500 0 0 -1500 30 }
35     { 0 0 -1500 0 0 -500 30 }
36     { 0 0 -500 0 0 -200 30 }
37     { 0 0 -200 0 0 200 40 }
38     { 0 0 200 0 0 500 30 }
39     { 0 0 500 0 0 1500 100 }
40   }
41 }
42 ]]
43
```

Lampiran 12. Script program pengaruh *microwave assisted*

```
1 # MIF 2.1
2
3 set pi [expr 4*atan(1.0)]
4 set mu0 [expr 4*$pi*1e-7]
5
6 Parameter amp 100    ;# Amplitude of the applied field, in mT
7 Parameter freq 20    ;# Frequency of applied field, in GHz
8
9 Specify Oxs_BoxAtlas:atlas {
10     xrange {0 10e-9}
11     yrange {0 10e-9}
12     zrange {0 20e-9}
13 }
14
15 Specify Oxs_RectangularMesh:mesh {
16     cellsize {50e-10 50e-10 50e-10}
17     atlas :atlas
18 }
19
20 Specify Oxs_UniaxialAnisotropy {
21     K1 5000
22     axis {0 0 1}
23 }
24
25 Specify Oxs_UniformExchange:NiFe {
26     A 1.3e-11
27 }
28
29 Specify Oxs_UZeeman [subst {
30     multiplier [expr 0.001/$mu0]
31     Hrange {
32         { 0 0 2000 0 0 2000 0 }
33         { 0 0 1500 0 0 500 100 }
34         { 0 0 500 0 0 200 30 }
35         { 0 0 200 0 0 -200 40 }
36         { 0 0 -200 0 0 -500 30 }
37         { 0 0 -500 0 0 -1500 30 }
38         { 0 0 -1500 0 0 -500 30 }
39         { 0 0 -500 0 0 -200 30 }
40         { 0 0 -200 0 0 200 40 }
41         { 0 0 200 0 0 500 30 }
42         { 0 0 500 0 0 1500 100 }
43     }
```

**Lampiran 13. Perhitungan diameter kritis dengan persamaan Brown**

$$D_c = 7,211 \times I_{ex}$$

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2A}{\mu_0 M_s^2}}$$

Untuk  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2 \times 1,3 \times 10^{-11} \text{ J/m}}{4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2 \times (8 \times 10^5 \text{ A/m})^2}}$$

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2,6 \times 10^{-11} \text{ J/m}}{4 \times 3,14 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2 \times (8 \times 10^5 \text{ A/m})^2}}$$

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2,6 \times 10^{-11} \text{ J/m}}{12,56 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2 \times 64 \times 10^{10} \text{ A}^2/\text{m}^2}}$$

$$I_{ex} = \sqrt{\frac{2,6 \times 10^{-11} \text{ J/m}}{803,84 \times 10^3 \text{ N/m}^2}}$$

$$I_{ex} = \sqrt{0,00323 \times 10^{-14} \text{ m}^2}$$

$$I_{ex} = 0,056 \times 10^{-7} \times 10^9 \text{ nm}$$

$$I_{ex} = 0,056 \times 10^2 \text{ nm}$$

$$I_{ex} = 5,6 \text{ nm}$$

$$D_c = 7,211 \times 5,6 \text{ nm}$$

$$D_c = 40,3816 \text{ nm}$$