



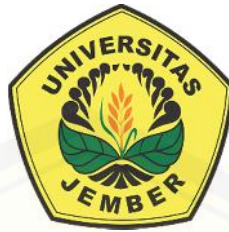
**STUDI SIFAT – SIFAT MAGNETIK MATERIAL FEROMAGNETIK  
 $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *RANDOM ALLOY* DAN *DOUBLE LAYERS* DALAM  
BERBAGAI KOMPOSISI BAHAN Co DAN Ni**

**SKRIPSI**

Oleh

**Samsul Arifin  
NIM 121810201057**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2016**



**STUDI SIFAT – SIFAT MAGNETIK MATERIAL FEROMAGNETIK  
 $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *RANDOM ALLOY* DAN *DOUBLE LAYERS* DALAM  
BERBAGAI KOMPOSISI BAHAN Co DAN Ni**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Samsul Arifin**  
**NIM 121810201057**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2016**

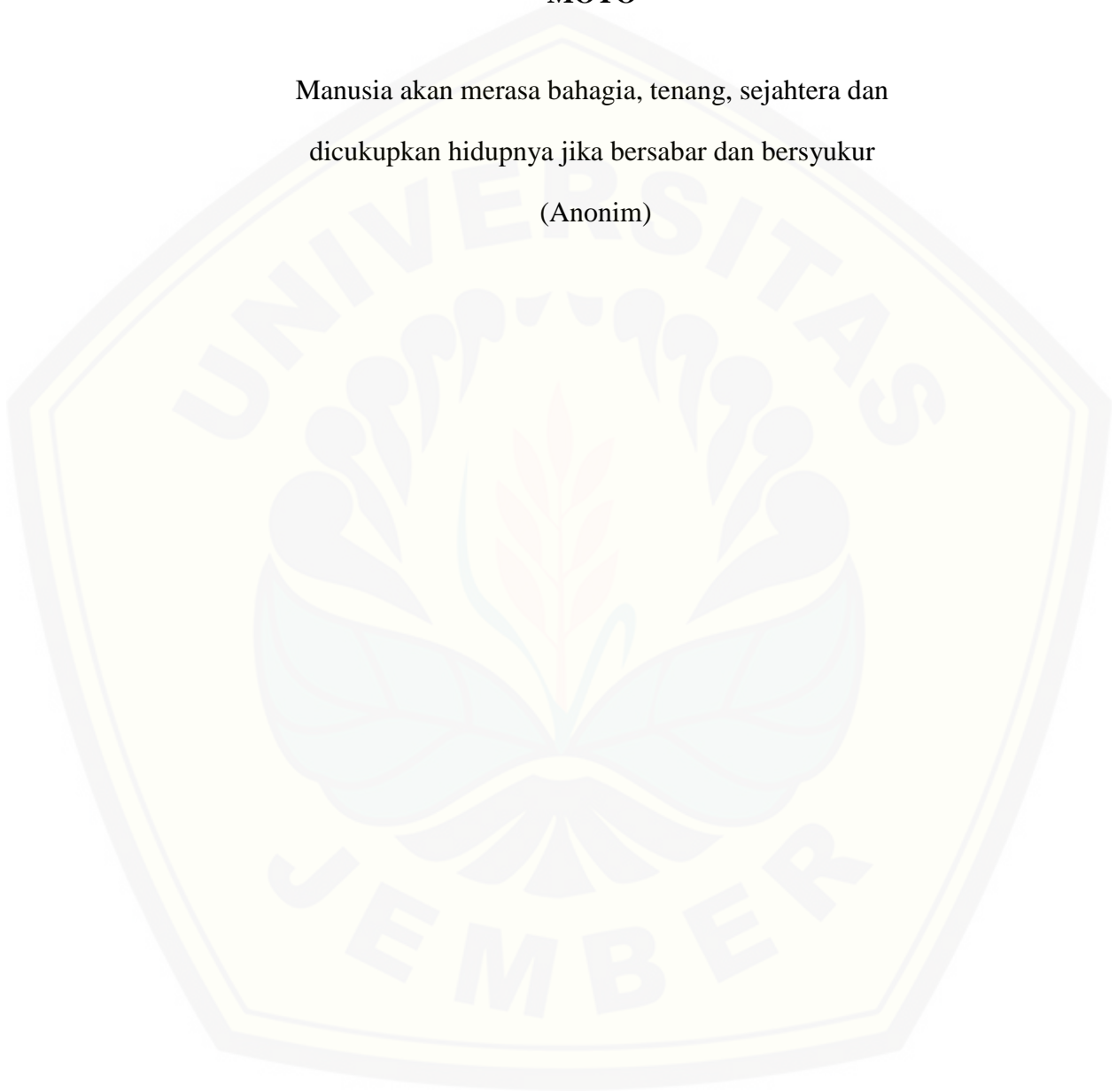
## PERSEMBAHAN

Dengan memanjatkan puji syukur terhadap kehadiran Allah SWT, skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Alm. Buriyo dan Ibunda Misya terimakasih atas segala kasih sayang dan pengorbanan yang telah diberikan, doa yang selalu dipanjatkan, serta dukungan motivasi yang mengiringiku setiap saat.
2. Saudara - saudariku Muzammil, Siti Maimuna, Musthofa, Nur Cholifah, Moh. Romli dan Fila yang telah memberikan motivasi dan keceriaan serta menemani orang tua di rumah selama saya menuntut pendidikan di bangku kuliah;
3. Andiana Priastuti yang telah sabar dan setia dalam menemani, memberikan semangat dan motivasi serta do'a;
4. Seluruh pendidik sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah mengamalkan ilmunya kepada saya.
5. Almamater Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

**MOTO**

Manusia akan merasa bahagia, tenang, sejahtera dan  
dicukupkan hidupnya jika bersabar dan bersyukur  
(Anonim)



**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Samsul Arifin

NIM : 121810201057

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni” adalah benar-benar hasil karya 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.

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, 23 November 2016

Yang menyatakan,

Samsul Arifin

NIM 121810201057

**SKRIPSI**

**STUDI SIFAT – SIFAT MAGNETIK MATERIAL FEROMAGNETIK  
 $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *RANDOM ALLOY* DAN *DOUBLE LAYERS* DALAM  
BERBAGAI KOMPOSISI BAHAN Co DAN Ni**

Oleh

Samsul Arifin

NIM 121810201057

Pembimbing:

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Edy Supriyanto, S.Si. M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni” karya Samsul Arifin telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

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

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

NIP 197208201998021001

NIP 196712151998021001

Anggota II,

Anggota III,

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

Nurul Priyantari, S.Si. M.Si.

NIP 196912251999031001

NIP 197003271997022001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni ; Samsul Arifin, 121810201057; 2016 : 55 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Univeristas Jember.**

Media perekam magnetik *Hard-Disk-Drive* (HDD) merupakan salah satu media penyimpanan data yang digunakan pada komputer atau laptop. Media perekam magnetik *Hard-Disk-Drive* (HDD) yang dibutuhkan saat ini yaitu memiliki kapasitas penyimpanan yang besar dan tahan terhadap panas. Salah satu cara untuk meningkatkan atau memperbesar kapasitas penyimpanan data yaitu dengan cara meningkatkan kerapatan bit (*bit-areal-density*) dari perekam magnetik tersebut. Sedangkan untuk membuat media perekam magnetik yang tahan terhadap panas yaitu dengan memilih bahan feromagnetik yang memiliki temperatur Curie dan magnetik anisotropi yang tinggi. Bahan yang cocok dan berpotensi untuk diaplikasikan sebagai media perekam magnetik ini adalah bahan magnetik feromagnetik.

Penelitian ini dilakukan secara teori komputasi yaitu melalui simulasi mikromagnetik. Simulasi mikromagnetik ini pada umumnya menggunakan sebuah program yang diproses dalam komputer. Dalam penelitian ini program yang digunakan adalah *Vampire* dengan bahan feromagnetik. Salah satu bahan feromagnetik yang memiliki sifat magnetik bagus (temperatur Curie tinggi, magnetik anisotropi tinggi, medan koersivitas dan medan saturasi tinggi serta bersifat *hard magnet*) adalah CoNi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat – sifat magnetik bahan CoNi berbentuk *random alloy* dan *double layers*, khususnya temperatur Curie dan kurva histeresisnya (medan saturasi dan medan koersivitas), serta pengaruh temperatur terhadap medan saturasi dan medan koersivitas. Struktur model bahan yang digunakan adalah nano-kubik.

Berdasarkan penelitian ini, temperatur Curie bahan CoNi yang berbentuk *random alloy* diperoleh hasil yaitu :  $\text{Co}_{0,2}\text{Ni}_{0,8}$  sebesar 800 K,  $\text{Co}_{0,33}\text{Ni}_{0,67}$  sebesar



900 K,  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$  sebesar 950 K,  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$  1000 K,  $\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$  sebesar 1075 K,  $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$  sebesar 1150 K, dan  $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$  sebesar 1250 K. Sedangkan nilai temperatur Curie yang diperoleh dari bahan CoNi yang berbentuk *double layers* yaitu :  $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$  sebesar 1200 K,  $\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$  sebesar 1250 K,  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$  sebesar 1300 K,  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$  sebesar 1325 K,  $\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$  1350 K,  $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$  sebesar 1375 K, dan  $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$  sebesar 1385 K. Variasi komposisi Co dan Ni berpengaruh pada temperatur Curie bahan CoNi, temperatur Curie akan meningkat seiring meningkatnya dari komposisi bahan Co. Hal ini terjadi karena bahan Co memiliki temperatur Curie yang lebih tinggi dari pada bahan Ni. Temperatur Curie yang dimiliki bahan CoNi yang berbentuk *double layers* lebih tinggi dari pada bahan CoNi yang berbentuk *random alloy*.

Peningkatan medan saturasi dan medan koersivitas pada karakteristik kurva histerisis dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers* dipengaruhi oleh variasi komposisi Co dan Ni. Umumnya medan saturasi dan medan koersivitas akan meningkat seiring meningkatnya komposisi dari bahan Co. Hal ini terjadi karena bahan Co memiliki nilai medan saturasi dan medan koersivitas yang lebih besar dari pada bahan Ni. Medan saturasi dan medan koersivitas yang dimiliki bahan CoNi yang berbentuk *random alloy* lebih tinggi dari pada bahan CoNi yang berbentuk *double layers*.

Pengaruh temperatur terhadap kurva histerisis dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers* diperoleh hasil yaitu : terdapat empat pola perbedaan perubahan medan saturasi dan medan koersivitas. Pola pertama yaitu terjadi pada temperature 0 K. Pola kedua (328 K), pola ketiga (473 K) dan pola keempat (900 K) terjadi pada saat medan saturasi dan medan koersivitas menunjukkan pola menurun seiring bertambahnya temperatur. Bahkan pada pola keempat ada tiga variasi komposisi bahan CoNi *random alloy* ( $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$ ,  $\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$  dan  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$ ) dan satu komposisi bahan CoNi *double layers* ( $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$ ) yang menunjukkan kurva histerisisnya rusak dan tidak diperoleh nilai medan saturasi dan medan koersivitasnya, hal ini terjadi karena pada pola ini sudah mendekati atau melebihi temperatur Curie dari bahan CoNi tersebut.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan pengarahannya dan bimbingan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Dr. Lutfi Rohman, S.Si. M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Dr. Artoto Arkundato, S.Si, M.Si., selaku Dosen Penguji I dan Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing penulis selama menjadi mahasiswa;
4. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
5. Edi Supriyadi yang telah memberikan bantuan selama penelitian di Laboratorium Fisika Komputasi;
6. Sahabat – sahabat seperjuanganku di Universitas Jember : Anwar Masduqi, Ahmad Ridlo H.T, Yongky Dinar Pramudita, M. Sukron Ali, Hazmi Mahmudi, Irvansyah, Abd Wafi, dan M. Ainur Rofiq.

7. Sahabat - sahabat yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan skripsi : Zainul Muzaki, Maya Alfatun Ni'mah, Latifatul Musyarofah, Ernik Dwi Safitri, Ervin Irayanti, Fitriana FZ dan Harik Muhandis;
8. Teman - teman seperjuangan jurusan Fisika angkatan 2012 "Lorentz" yang telah memberikan bantuan dan dukungannya;
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, November 2016

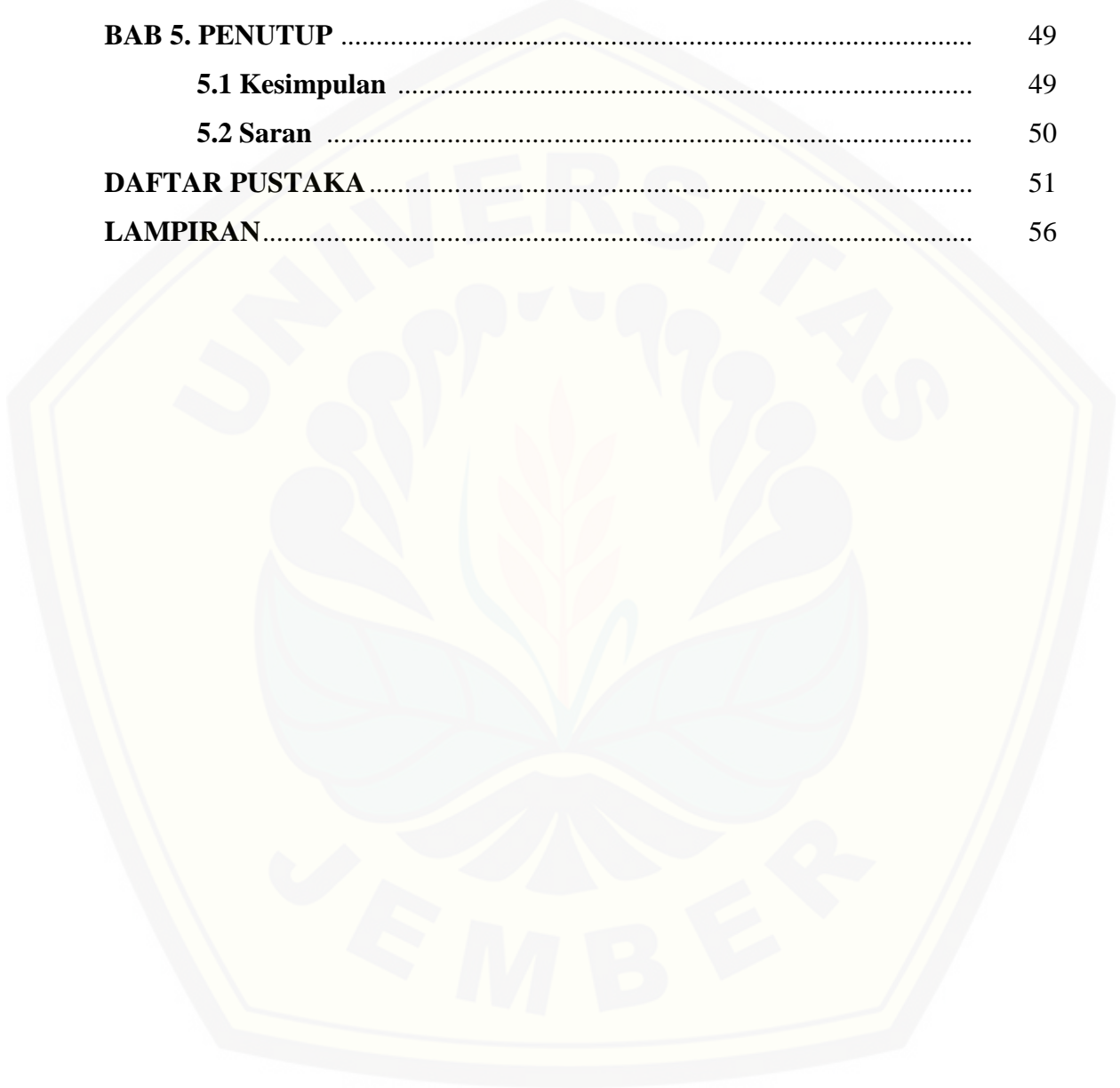
Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	ii
HALAMAN MOTTO .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
RINGKASAN .....	vii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Tujuan.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Struktur Kristal.....</b>	<b>6</b>
2.1.1 <i>Simple Cubic Structure (SC)</i> .....	6
2.1.2 <i>Body Centered Cubic (BCC)</i> .....	6
2.1.3 <i>Face Centered Cubic (FCC)</i> .....	7
2.1.4 <i>Hexagonal Closed Packed (HCP)</i> .....	8

<b>2.2 Sifat – Sifat Magnetik Material (Bahan)</b> .....	8
2.2.1 Diamagnetik .....	9
2.2.2 Paramagnetik.....	10
2.2.3 Feromagnetik.....	11
<b>2.3 Atomistic Spin Model</b> .....	12
<b>2.4 Spin Hamiltonian</b> .....	13
<b>2.5 Spin Dynamics</b> .....	14
<b>2.6 Metode Heun</b> .....	15
<b>2.7 Parameter – Parameter Mikromagnetik Atomistic Model</b> ....	16
2.7.1 Atomik Spin Moment.....	16
2.7.2 Energi <i>exchange</i> .....	16
2.7.3 Energi Anisotropi .....	17
2.7.4 Energi Magnetostatik .....	17
<b>2.8 Struktur Domain</b> .....	18
2.8.1 <i>Single Domain</i> .....	18
2.8.2 <i>Two Domain dan Vortex-state</i> .....	19
<b>2.9 Kurva Histeresis</b> .....	20
<b>2.10 Mekanisme Pembalikan Magnetisasi</b> .....	22
<b>2.11 Konsep Simulasi Mikromagnetik</b> .....	23
<b>2.12 Bahan CoNi</b> .....	23
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	26
<b>3.1 Tempat dan Waktu Penelitian</b> .....	26
<b>3.2 Alat Penelitian</b> .....	26
<b>3.3 Prosedur Penelitian</b> .....	27
3.3.1 Diagram Penelitian.....	27
3.3.2 Langkah Kerja.....	28
<b>3.4 Metode Analisis</b> .....	31

<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 Analisis Temperatur Curie Bahan CoNi .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Karakteristik Kurva Histerisis Bahan CoNi .....</b>	<b>37</b>
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>49</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>50</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>56</b>



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Struktur kristal <i>Simple Cubic</i> (SC).....	6
2.2 Struktur kristal <i>Body Centered Cubic</i> (BCC).....	7
2.3 Struktur kristal <i>Face Centered Cubic</i> (FCC) .....	7
2.4 Struktur kristal <i>Hexagonal Close Packed</i> .....	8
2.5 Moment Magnetik Material Diamagnetik.....	10
2.6 Orientasi Moment Magnetik Bahan Paramagnetik .....	11
2.7 Struktur Domain dalam Material Feromagnetik.....	12
2.8 Pengurangan energi magnetostatik atau energi demagnetisasi akibat orientasi arah dari dipol – dipol magnet .....	17
2.9 Keadaan konfigurasi domain magnet saat energi minimum ( <i>grounstate</i> ) dari partikel magnet bola ( <i>spherical magnetic particle</i> ) .....	19
2.10 Kurva histeresis untuk material feromagnetik .....	20
2.11 Kurva perbandingan nilai medan koersivitas terhadap diameter partikel.	21
2.12 Mekanisme pembalikan magnetisasi partikel magnetik berbentuk bola ..	22
2.13 Struktur kristal FCC dan struktur kristal FCC dari bahan $Co_{20}Ni_{80}$ dengan pemberian Hidrogen pada material tersebut . .....	25
2.14 Kurva histeresis dari bahan Co, $Co_{80}Ni_{20}$ dan $Co_{50}Ni_{50}$ dengan diameter 35 nm dan panjangnya 2.5 $\mu m$ (a) sejajar dengan medan luar dan (b) tegak lurus dengan medan luar .....	25
3.1 Diagram alir penelitian .....	27
3.2 Struktur material bentuk <i>Random Alloy</i> dan bentuk <i>Double Layers</i> .....	29
3.3 Grafik Penentuan Temperatur Curie pada Program <i>Origin</i> .....	32
3.4 Grafik Kurva Histeresis Pada Program <i>Origin</i> .....	33
4.1 Kurva temperatur Curie dari bahan $Co_{(1-x)}Ni_{(x)}$ <i>random alloy</i> dengan berbagai komposisi Co dan Ni .....	35

4.2 Kurva temperatur Curie dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Double Layers</i> dengan berbagai komposisi Co dan Ni.....	35
4.3 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Random Alloy</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 0 K . . . . .	38
4.4 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Double Layers</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 0 K . . . . .	38
4.5 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Random Alloy</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 328 K . . . . .	39
4.6 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Double Layers</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 328 K . . . . .	40
4.7 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Random Alloy</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 473 K. . . . .	41
4.8 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Double Layers</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 473 K. . . . .	41
4.9 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Random Alloy</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 900 K . . . . .	42
4.10 Kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$ <i>Double Layers</i> terhadap variasi Komposisi Co dan Ni saat temperatur 900 K . . . . .	43
4.11 Contoh proses perubahan magnetisasi bahan $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$ <i>random alloy</i> saat temperatur 0 K . . . . .	46
4.12 Contoh proses perubahan magnetisasi bahan $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$ <i>Double Layers</i> saat temperatur 0 K . . . . .	47



**DAFTAR TABEL**

	Halaman
3.1 Parameter Bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ dalam Simulasi Mikromagnetik .....	28
3.2 Variasi Komposisi Bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ <i>Random Alloy</i> dan <i>Double Layers</i> dalam Penentuan Temperatur Curie .....	29
3.3 Variasi Komposisi dan pengaruh temperatur bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ <i>Random Alloy</i> dan <i>Double Layers</i> dalam Pembuatan Kurva Histeresis .....	30
4.1 Nilai medan saturasi ( $H_s$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) bahan CoNi berbentuk <i>random alloy</i> dan <i>double layers</i> saat temperatur 0 K.....	39
4.2 Nilai medan saturasi ( $H_s$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) bahan CoNi berbentuk <i>random alloy</i> dan <i>double layers</i> saat temperatur 328 K.....	40
4.3 Nilai medan saturasi ( $H_s$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) bahan CoNi berbentuk <i>random alloy</i> dan <i>double layers</i> saat temperatur 473 K.....	42
4.4 Nilai medan saturasi ( $H_s$ ) dan medan koersivitas ( $H_c$ ) bahan CoNi berbentuk <i>random alloy</i> dan <i>double layers</i> saat temperatur 900 K.....	43

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penelitian material magnetik telah banyak dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau sifat – sifat dari material magnetik tersebut. Dengan memanfaatkan sifat medan magnet, banyak peralatan telah dibuat seperti generator, transformator, motor listrik, radio, televisi, telepon, dan komputer. Lebih jauh material magnetik digunakan dalam berbagai divais teknologi mikroelektronika dan sensor magnetik (Warsiti, 2005), serta teknologi *magnetic recording* seperti *Hard Disk Drive* (HDD).

Selama dua dekade terakhir ini, penelitian mengenai bahan feromagnetik berbentuk partikel, *disk*, *wires* pada skala nanometer ramai diteliti. Hal ini terjadi karena ditunjang kemajuan bidang nanoteknologi, khususnya teknik fabrikasi magnet. Hasil penelitian tersebut adalah digunakannya divais spintronik. Spintronik ini memanfaatkan muatan dan arah spin elektron untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan data. Elektron yang semula hanya dipandang sebagai muatannya saja, dalam spintronik arah elektron spin menjadi sumber informasi digital sebuah material. Proses manipulasi arah spin serta pergerakannya membuka jendela baru untuk meningkatkan kemampuan material dalam aplikasinya. Sehingga dengan divais ini dapat membangun teknologi yang lebih baru dan menciptakan perangkat elektronika yang lebih handal. Seperti *non – volatile* memori komputer (memori yang dapat menyimpan informasi meskipun tidak diberikan daya), *resistive random access memory* (RRAM) dan piranti *hard-drive (storage device)* komputer yang kapasitas penyimpanan datanya semakin besar dengan penggunaan daya rendah, contohnya pada media perekam magnetik *Hard Disk Drive* (HDD) (Rohman, 2013).

Kebutuhan HDD berkapasitas besar semakin meningkat. Kebutuhan ini dapat dicapai dengan cara meningkatkan kerapatan bit (*bit-aral-density*). Dengan meningkatkan kerapatan bit, maka sama halnya meningkatkan kapasitas data dari

media perekam data tersebut. Kerapatan bit dijadikan tolak ukur dalam perkembangan kemajuan bidang perekam magnetik. Namun, ada masalah yang dihadapi yaitu penyimpanan data menjadi tidak stabil karena efek superparamagnetik. Efek superparamagnetik merupakan sifat yang muncul pada nanomaterial berorde satu domain magnet, sehingga konsekuensinya partikel tersebut akan sangat reaktif terhadap medan magnet luar (Sulanjari *et al.*, 2014). Jika nilai kerapatan bit ditingkatkan, maka energi magnetisasi menurun. Selanjutnya, terjadi proses demagnetisasi dan perubahan orientasi magnetisasi yang disebabkan oleh perubahan temperatur tinggi pada keadaan energi magnetisasi yang menurun (Dobisz, 2008). Sehingga menyebabkan informasi data yang tersimpan dalam media penyimpanan menjadi tidak stabil dan kemungkinan terburuknya data dalam media penyimpanan tersebut akan rusak.

Suhu HDD saat komputer hidup mencapai  $30^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ , sedangkan saat komputer hidup dan bekerja (memproses data) suhunya mencapai  $50^{\circ}\text{C} - 58^{\circ}\text{C}$  (Asrofi, 2013). Ketika HDD bekerja secara terus menerus, HDD akan mencapai suhu maksimumnya yang disebut dengan suhu *overheat*. Suhu *overheat* dari HDD sekitar 339 K atau  $66^{\circ}\text{C}$ , ketika HDD bekerja mencapai suhu *overheat* atau bahkan melebihinya, maka HDD akan menjadi lebih lambat untuk memproses kerjanya dan umur dari HDD akan lebih singkat bahkan bisa terjadi kerusakan permanen (Sugiarto, 2013). Dengan demikian, produksi HDD yang kuat dan tahan terhadap panas sangat diperlukan guna mengurangi resiko *overheat* dari HDD tersebut.

Terdapat salah satu pendekatan yang diajukan untuk masalah ini yaitu membuat media perekam magnetik berbentuk *patterned media*. Dengan *patterned media* ini bahan magnetik dapat dipola dengan ukuran yang sangat kecil, sehingga dapat meningkatkan kerapatan bit dari media perekam magnetik. 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* kubus (*nanocubes*), silinder, heksagonal, dan bentuk lain yang lebih kompleks (Alvarez, 2008).

Pengembangan bahan magnetik terus dilakukan oleh para ilmuwan, baik penelitian secara eksperimen maupun secara teori komputasi. Penelitian secara teori komputasi dilakukan untuk mempelajari bahan magnetik dengan baik melalui simulasi mikromagnetik. Simulasi mikromagnetik merupakan usaha mensimulasikan sifat – sifat magnetik bahan magnetik (ferromagnetik) yang berukuran mikro atau kecil dapat mencapai skala nanometer menggunakan konsep mikromagnetik bahan. Simulasi ini pada umumnya menggunakan sebuah program yang diproses dalam komputer, dalam penelitian ini program yang digunakan adalah *Vampire* pada *Operating System (OS) Windows* dengan bahan ferromagnetik. Ada beberapa bahan yang termasuk dalam golongan bahan ferromagnetik ini, antara lain Besi (Fe), Nikel (Ni), Cobalt (Co) (Sudjatmoko, 2005). Salah satu bahan ferromagnetik yang memiliki sifat magnetik bagus adalah CoNi. Dalam mempelajari sifat magnet pada bahan CoNi dapat digunakan pendekatan secara teori komputasi, misalnya penentuan temperatur Curie dan pembuatan kurva histeresis dari bahan CoNi. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan merujuk pada hasil penelitian sebelumnya, yaitu penelitian secara eksperimen tentang CoNi *multilayers* dengan magnetik anisotropi tegak lurus : efek kerr dan termomagnetik *writing* (Broeder, 1992). Hasil yang diperoleh dari penelitian Broeder menunjukkan bahwa temperatur Curie dari bahan  $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$  alloy sebesar  $680^{\circ}\text{C}$  atau 953 K.

Bahan ferromagnetik Cobalt (Co) memiliki tekstur yang kuat dengan nilai magnetik anisotropi yang besar ( $6,69 \times 10^{-24}$  J/atom), temperatur Curie tinggi (1388K) serta koersivitas yang tinggi (pada diameter 550 nm sebesar 512 Oe) (Balela, 2008). Sedangkan Nikel (Ni) merupakan bahan ferromagnetik yang memiliki struktur kuat, koersivitas tinggi (pada diameter 750 nm sebesar 426 Oe), tahan korosi, dan memiliki nilai anisotropi tinggi jika dipadukan dengan logam lainnya (Davis, 2000). Karakter magnetik anisotropi yang besar membuka peluang bahan ini dapat

dipola (*patterned*) dengan ukuran yang sangat kecil tanpa kehilangan karakter magnetiknya karena efek panas (Salamah, 2014). Sehingga jika bahan Co dan Ni dipadukan dapat diaplikasikan sebagai media perekam magnetik dengan kerapatan tinggi dan tahan terhadap panas. Oleh sebab itu, penelitian tentang studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-X)}\text{Ni}_{(X)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni akan dapat memberikan kontribusi yang penting pada perkembangan teknologi khususnya sistem penyimpanan data berbasis magnetik.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang mendasari dilakukan penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi dari bahan Co dan Ni pada bentuk *Random Alloy* dan *Double Layers*?
2. Bagaimana perbedaan sifat – sifat magnetik antara bentuk *Random Alloy* dan *Double Layers* dari bahan CoNi, khususnya temperatur Curie dan kurva histeresisnya?

### 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini, antara lain :

1. Penelitian simulasi mikromagnetik CoNi dilakukan dalam bentuk *cuboid*;
2. Penelitian ini menggunakan metode simulasi mikromagnetik atomistik program *Vampire* pada *operating system windows*;
3. Variasi komposisi pada bahan Co dan Ni yang digunakan dalam penelitian ini ada 7 nilai ( $X = 80\%$ ,  $67\%$ ,  $60\%$ ,  $50\%$ ,  $40\%$ ,  $30\%$ , dan  $20\%$ );
4. Variasi bentuk yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu *Random Alloy* dan *Double Layers*.

#### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini, antara lain :

1. Mengetahui pengaruh variasi komposisi dari bahan Co dan Ni pada bentuk *Random Alloy* dan *Double Layers*;
2. Mengetahui perbedaan sifat – sifat magnetik antara bentuk *Random Alloy* dan *Double Layers* dari bahan CoNi, khususnya pada temperatur Curie dan kurva histeresis.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni ini diharapkan mampu memberikan pandangan baru mengenai simulasi bahan mikromagnetik pada bidang ilmu fisika komputasi. Penelitian ini akan memberikan gambaran yang luas bahwa ilmu fisika dapat mengkaji bahan yang sangat kecil berukuran skala mikro, bahkan skala nano khususnya bidang komputasi. Penelitian ini juga diharapkan dapat digunakan sebagai acuan bahan dasar dari pembuatan media penyimpanan data berbasis magnetik seperti *Hard Disk Drive* (HDD), yang mempunyai peluang untuk meningkatkan kapasitas yang cukup besar serta tahan terhadap panas.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Struktur Kristal

#### 2.1.1 *Simple Cubic Structure* (SC)

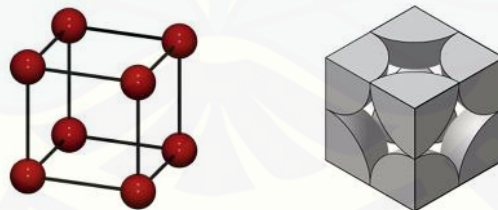
Satu sel dari struktur SC diperlihatkan oleh gambar 2.1. Pada gambar 2.1 terlihat bahwa terdapat 8 sel satuan di tepi dan 1/8 atom terdapat pada tiap – tiap sudut sel, dengan demikian satu sel satuan SC terdapat 1 atom. Berdasarkan gambar 2.1 maka dapat diketahui jari – jari atom pada struktur SC dengan persamaan

$$a = 2R \quad (2.1)$$

Untuk nilai *Atomic Packing Factor* (APF) dapat menggunakan persamaan

$$APF = \frac{\text{Volume atom-atom dalam sel satuan}}{\text{Volume sel satuan}} \quad (2.2)$$

Dari hasil perhitungan nilai untuk APF kristal SC adalah 52% dan sisanya 48% adalah ruang kosong. Hanya *Polonium* yang menunjukkan tipe dari struktur SC pada temperatur dibawah 75° C.



Gambar 2.1 Struktur Kristal *Simple Cubic* (SC) (Pahuja, 2005).

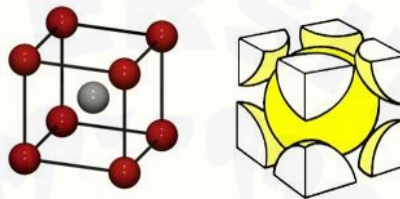
#### 2.1.2 *Body Centered Cubic* (BCC)

Satu sel dari struktur kristal BCC diperlihatkan pada gambar 2.2. Pada gambar 2.2 terlihat bahwa terdapat satu sel utuh ditengah 8 sel satuan di tepi dan 1/8 atom terdapat pada tiap – tiap sudut sel satuan sehingga dalam satu sel satuan BCC terdapat

2 atom. Contoh logam BCC yaitu Na, K, Mo, dan W. Berdasarkan gambar 2.2 maka dapat diketahui jari – jari atomnya dengan persamaan

$$\sqrt{3} a = 4R \text{ atau } a = \frac{4R}{\sqrt{3}} \quad (2.3)$$

Persamaan 2.2 juga dapat digunakan untuk mengetahui nilai APF pada kristal BCC. Nilai APF kristal BCC sebesar 68% dan sisanya 32% ruang kosong. Hal ini menunjukkan bahwa kristal BCC berstruktur padat.



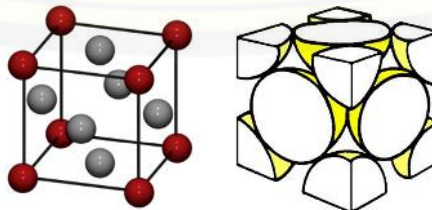
Gambar 2.2 Struktur Kristal *Body Centered Cubic* (BCC) (Puri, 2001)

### 2.1.3 *Face Centered Cubic* (FCC)

Satu sel dari struktur kristal FCC dapat dilihat pada gambar 2.3. Gambar ini menunjukkan bahwa terdapat satu titik *lattice* pada setiap sudut dan satu titik *lattice* pada setiap pusat sisi kubus. Struktur kristal FCC dikelilingi oleh 12 atom dengan bilangan koordinasi sebesar 12. Jari – jari atom FCC dapat diketahui dengan persamaan

$$\sqrt{2} a = 4R \text{ atau } a = \frac{4R}{\sqrt{2}} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.2 juga dapat digunakan untuk menghitung nilai APF pada kristal FCC. Nilai APF kristal FCC sebesar 74% dan sisanya 26% ruang kosong. Hal ini mencirikan bahwa kristal FCC berstruktur padat. Contoh bahan FCC yaitu Pt, Pb, Ni, Cu, Ag, Au, dan Al.



Gambar 2.3 Struktur Kristal *Face Centered Cubic* (FCC) (Callister, 2012).



#### 2.1.4 Hexagonal Closed Packed (HCP)

Pada gambar 2.4 menunjukkan sel satuan kristal HCP. Setiap logam struktur kristal HCP dikelilingi oleh 12 atom dan bilangan koordinasi sebanyak 12. Hal ini mencirikan bahwa kristal HCP berstruktur padat. Nilai APF dari struktur kristal HCP dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2.2. Berdasarkan persamaan 2.2 dapat diketahui nilai APF dari struktur kristal HCP yaitu sebesar 74% dan sisanya sebesar 26% ruang kosong. Sel satuan HCP mempunyai 6 atom per sel satuan, yaitu  $(2 \times 6 \times 1/6)$  (pada sudut lapisan bawah dan atas)  $(+2 \times 1/2)$  (pada pusat lapisan bawah dan atas)  $(+3)$  (lapisan tengah). Contoh logam HCP yaitu Co, Cd, Ti, dan Zn.



Gambar 2.4 Struktur Kristal *Hexagonal Closed Packed* (Callister, 2012).

#### 2.2 Sifat - Sifat Magnetik Material (Bahan)

Obyek yang memiliki medan magnet dan dapat menarik besi atau baja disebut dengan magnet. Magnet dapat dibuat dari bahan besi, baja, dan campuran logam. Sebuah magnet terdiri atas magnet – magnet kecil yang memiliki arah yang sama (tersusun teratur). Setiap magnet memiliki dua kutub, yaitu : utara dan selatan. Kutub magnet adalah daerah yang berada pada ujung – ujung magnet dengan kekuatan magnet yang paling besar berada pada kutub – kutubnya. Satuan intensitas magnet menurut Sistem Internasional (SI) adalah Tesla dan SI unit total fluks magnet adalah Weber ( $1 \text{ weber/m}^2 = 1 \text{ tesla}$ ) yang mempengaruhi luasan satu meter persegi.

Medan magnet merupakan daerah sekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Jika sebatang magnet diletakkan dalam suatu ruang, maka terjadi perubahan dalam ruang ini yaitu dalam setiap titik dalam ruang akan terdapat

medan magnetik. Arah medan magnetik di suatu titik didefinisikan sebagai arah yang ditunjukkan oleh kutub utara jarum kompas ketika ditempelkan pada titik tersebut (Sawitri *et al.*, 2010). Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengukur medan magnet, antara lain metode resonansi magnetik, metode induksi, metode plat Hall dan metode Fluxgate (Djamal, 2006).

Bahan magnetik merupakan suatu bahan yang memiliki kemagnetan dalam komponen pembentuknya. Setiap bahan memiliki sifat magnetik. Sifat magnetik bisa ditinjau dari nilai suseptibilitas dan permeabilitasnya (Siregar, 2002). Berdasarkan nilai suseptibilitas dan permeabilitas, bahan magnetik terdiri atas tiga kategori, yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan feromagnetik (Warsiti, 2005). Suseptibilitas magnetik merupakan kesebandingan antara vektor medan magnetik dan magnetisasi pada suatu bahan (Subekti, 2010). Induksi magnet  $B$ , medan magnet  $H$  dan Magnetisasi sangat diperlukan karena berhubungan dengan suseptibilitas ( $\chi_m$ ) dan permeabilitas magnetik ( $\mu_0$ ) dari bahan. Hubungan antara  $B$ ,  $H$  dan  $M$  dapat ditulis dengan persamaan :

$$B = \mu_0(H + M) \quad (2.5)$$

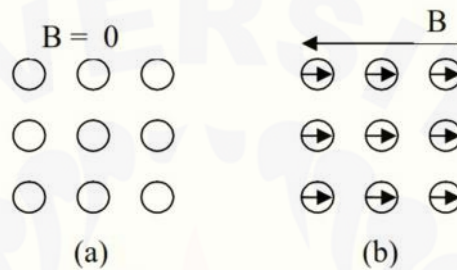
$$M = \chi_m H \quad (2.6)$$

dimana  $B$  adalah induksi magnet (T),  $H$  adalah medan magnet (A/m),  $M$  adalah magnetisasi (A/m),  $\mu_0$  adalah permeabilitas dan  $\chi_m$  adalah suseptibilitas.

### 2.2.1 Diamagnetik

Bahan diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas negatif yang sangat kecil. Pada bahan diamagnetik, setiap atom mempunyai elektron orbital dan hampir semua spin elektron berpasangan, sehingga bahan ini tidak menarik garis gaya magnet. Dengan demikian, bahan diamagnetik memiliki permeabilitas ( $\mu_0$ )  $< 1$  (Puryanti, 2013). Bahan diamagnetik ini merupakan bahan yang 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. Pengaruh ini tidak tergantung pada temperatur. Superkonduktor merupakan contoh bahan diamagnetik sempurna dengan suseptibilitas sebesar  $-1$ . Momen magnetik material diamagnetik diperlihatkan pada gambar 2.5. Contoh dari bahan diamagnetik yaitu Emas (Au), Tembaga (Cu), dan Bismut (Bi).

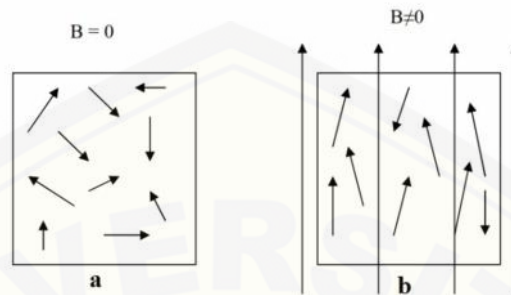


Gambar 2.5 Momen magnetik material diamagnetik (a) tanpa medan luar, (b) dengan medan luar (Sclater, 1999).

### 2.2.2 Paramagnetik

Paramagnetik merupakan suatu bentuk magnetisme yang hanya terjadi karena adanya medan magnet eksternal. Material paramagnetik tertarik oleh medan magnet, dan karenanya memiliki permeabilitas magnetis relatif lebih dari satu dan memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif. Suseptibilitas magnetik bahan paramagnetik akan mengalami penurunan jika suhu yang diterima oleh bahan semakin tinggi (Triyanto, 2004). Paramagnetik tidak mempertahankan magnetismenya sewaktu medan magnet eksternal tak lagi diterapkan. Paramagnetisme muncul dalam bahan yang atom – atomnya memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain secara lemah. Apabila tidak terdapat medan magnetik luar, momen magnetik ini akan berorientasi acak. Dengan daya medan magnetik luar, momen magnetik ini cenderung menyearahkan sejajar dengan medannya. Pada medan magnetik luar yang kuat dalam temperatur yang sangat rendah, hampir seluruh momen akan disearahkan dengan medannya. Pada temperatur yang biasa pergerakan atom cenderung mempertahankan arah acak momen magnetik. Orientasi momen magnetik material paramagnetik

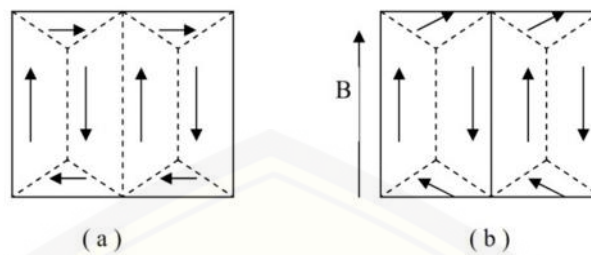
diperlihatkan pada gambar 2.6. Contoh dari bahan paramagnetik yaitu Magnesium (Mg), Titanium (Ti), dan Aluminium (Al).



Gambar 2.6 Orientasi momen magnetik bahan paramagnetik (a) tanpa adanya medan luar (b) dengan adanya medan luar (Sclater, 1999).

### 2.2.3 Feromagnetik

Bahan feromagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnet positif dan sangat tinggi. Bahan feromagnetik mula – mula memiliki magnetisasi nol pada daerah bebas medan magnetik, bila mendapat pengaruh medan magnetik yang lemah saja akan memperoleh magnetisasi yang besar. Jika diperbesar medan magnetnya, akan semakin besar pula magnetisasinya. Bila medan magnetik dari bahan ini ditiadakan, magnetisasi bahan feromagnetik tidak kembali menjadi nol. Jadi bahan feromagnetik dapat mempunyai magnetisasi walaupun tidak ada medan, sehingga bahan ini dikatakan memiliki magnetisasi spontan (Istiyono, 2009). Pada temperatur di atas temperatur kritis, yang disebut temperatur Curie, gerak termal acak sudah cukup besar untuk merusak keteraturan penyearahan bahan ini dan bahan feromagnetik berubah menjadi paramagnetik (Tipler, 2001). Gambar 2.7 mengilustrasikan struktur domain pada material feromagnetik. Contoh dari bahan feromagnetik yaitu *Cobalt* (Co), *Nickel* (Ni), dan *Iron* (Fe).



Gambar 2.7 Struktur domain dalam material feromagnetik, tanda panah menunjukkan arah magnetisasi. (a) Magnetisasi adalah nol, (b) Penerapan magnetisasi mengubah arah beberapa domain (Christian, 1988).

### 2.3 Atomistic Spin Model

Bentuk *atomistic spin model* didasari oleh dua pendekatan yang berbeda, yaitu model mikromagnetik dan model *ab - initio* dari struktur elektron. Pada mikromagnetik material didiskrit ke dalam bentuk domain yang kecil dengan pengasumsian magnetisasi sebagai penyusunnya. Jika ukuran sel pada mikromagnetik dibuat kurang dari 1 nm, maka magnetisasi tidak lagi mengikuti teori *continuum*. Demikian juga saat sifat – sifat elektron pada sistem setimbang, maka sifat – sifat mekanika kuantum dapat dibentuk ke dalam inti atom pada kondisi yang sama terhadap dinamika molekul.

Kelebihan dari mikromagnetik *atomistic model* ini yaitu berhubungan dengan susunan atom dan berbagai sifat dari material seperti permukaan, kerusakan dan kekerasan dari material. Disamping itu, selain dapat mensimulasikan material di bawah temperatur kritis, juga dapat mensimulasikan material pada temperatur tinggi yaitu di atas temperatur kritis yang biasanya akan merusak material tersebut. Hal yang sama terjadi dengan teori *ab - initio*, pembentukan atau pemetaan model spin efektif mengikuti penerapan dari mekanika kuantum yang berhubungan dengan sebuah sistem yang jauh lebih besar dengan peninjauan efek dinamik pada skala waktu yang lebih lama (Evans dan Biternas, 2014).

## 2.4 Spin Hamiltonian

Dasar dari *atomistik spin model* adalah spin Hamiltonian, yakni mendiskripsikan secara mendasar tentang interaksi spin pada tingkatan atom (dengan mengabaikan efek potensial dan energi kinetik serta korelasi elektron). Spin Hamiltonian didefinisikan (Evans dan Biternas, 2014) :

$$\mathcal{H} = -\sum_{i,j} J_{ij} S_i \cdot S_j - k_2 \sum_i S_z^2 - \mu_s \sum_i H_{app} \cdot S_i \quad (2.7)$$

dimana  $\mathcal{H}$  adalah spin Hamiltonian (J),  $J_{ij}$  adalah *Heisenberg exchange* (J),  $k_2$  adalah konstanta anisotropi,  $H_{app}$  adalah medan luar (T) dan  $\mu_s$  adalah *atomic spin moment* (J/T) serta  $S_i$  adalah unit vektor yang mendiskripsikan orientasi dari spin moment lokal. Persamaan (2.7) mendiskripsikan kontribusi *exchange*, uniaxial anisotropi dan medan luar. Kebanyakan material magnetik didominasi oleh kontribusi dari interaksi *exchange*.

Sementara itu, fungsi dari interaksi *exchange* yaitu dapat menentukan urutan spin, yang biasanya isotropi, sehingga tidak ada orientasi *preferential* pada spin – spin dalam sistem. Kebanyakan material magnetik adalah anisotropi, yakni spin – spinnya memiliki orientasi yang sama di dalamnya, dan akan meningkat pada level atom yang disebabkan oleh kristal lokal di sekelilingnya, ini yang disebut dengan *magnetocrystalline anisotropy*. Pada model ini, spin – spin uniaxial anisotropi akan menjalar di sepanjang sumbu tunggal yang disebut *easy axis*. Kekuatan dari anisotropi ditentukan oleh konstanta anisotropinya  $k_2$ . Jika memiliki nilai positif maka akan menjalar di sepanjang sumbu z, dan menjalar di bidang x-y saat nilainya berupa negatif.

Bentuk terakhir dari persamaan (2.7) yaitu mendiskripsikan tentang sistem spin yang berpasangan terhadap medan luar  $H_{app}$  yang disebut dengan medan Zeeman. Medan luar dapat membalikkan arah orientasi spin, cara ini dapat digunakan pada simulasi mikromagnetik model atomistik, misal dalam pembuatan kurva histeresis (Evans dan Biternas, 2014).

### 2.5 Spin Dynamics

Spin Hamiltonian mendiskripsikan tentang keberadaan dari sistem namun tidak mendiskripsikan mengenai perilaku dinamik. Persamaan Landau – Lifshitz – Gilbert (LLG) digunakan untuk mendeskripsikan dinamika dari spin atom. Formula LLG yang digunakan yaitu (Evans dan Biternas, 2014) :

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} = -\frac{\gamma}{(1+\lambda^2)} [S_i \times H_{eff}^i + \lambda S_i \times (S_i \times H_{eff}^i)] \quad (2.8)$$

dimana  $S_i$  adalah unit vektor yang menyatakan arah dari spin moment magnetik dari  $i$ ,  $\gamma$  adalah rasio *gyromagnetic* dan  $H_{eff}^i$  merupakan total medan magnet pada spin (A/m). Persamaan LLG pada sistem atomistik menjelaskan tentang adanya interaksi dari *atomic spin moment i* dengan total medan magnetik yang ditentukan dari turunan spin Hamiltonian :

$$H_{eff}^i = -\frac{1}{\mu_s} \frac{\partial \mathcal{H}}{\partial S_i} \quad (2.9)$$

dimana  $\mu_s$  adalah spin momen lokal (A/m). Dari formula di atas satuan medan magnet efektif adalah Tesla, dengan satuan Hamiltonian dalam Joule. Landau – Lifshitz – Gilbert (LLG) diintegrasikan secara numerik menggunakan metode Heun, dengan menyertakan perubahan waktu dari spin untuk disimulasikan (Evans dan Biternas, 2014).

## 2.6 Metode Heun

Metode Heun merupakan modifikasi dari metode Euler. Penentuan arah spin  $\mathbf{S}'_i$  dan medan efektif  $\mathbf{H}'_{eff}$  dalam metode Heun mengacu pada metode Euler dengan persamaan :

$$\mathbf{S}'_i = \mathbf{S}_i + \Delta\mathbf{S}\Delta t \quad (2.10)$$

Persamaan (2.10) sebagai *predictor* dalam penentuan posisi arah spin. Dimana  $\Delta\mathbf{S}$  sendiri

$$\Delta\mathbf{S} = \frac{\gamma}{(1+\lambda^2)} [\mathbf{S}'_i \times \mathbf{H}'_{eff} + \lambda\mathbf{S}_i(\mathbf{S}_i \times \mathbf{H}'_{eff})] \quad (2.11)$$

Untuk menentukan posisi spin dari posisi spin yang diprediksi dengan perubahan medan efektif  $\mathbf{H}'_{eff}$  yang dalam hal ini difungsikan sebagai *corrector*, maka digunakan persamaan :

$$\mathbf{S}_i^{t+\Delta t} = \mathbf{S}_i + \frac{1}{2}(\Delta\mathbf{S} + \Delta\mathbf{S}')\Delta t \quad (2.12)$$

dimana  $\Delta\mathbf{S}'$

$$\Delta\mathbf{S}' = -\frac{\gamma}{(1+\lambda^2)} [\mathbf{S}'_i \times \mathbf{H}'_{eff} + \lambda\mathbf{S}'_i(\mathbf{S}_i \times \mathbf{H}'_{eff})] \quad (2.13)$$

dimana  $\gamma$  adalah *gyromagnetic ratio*,  $\lambda$  adalah *microscopic damping* dan  $\mathbf{H}'_{eff}$  adalah total medan magnet. Dengan demikian *predictor* dari integrasi ini ditunjukkan pada setiap spin sebelum proses evaluasi dari *corrector* untuk setiap spin dengan pengulangan beberapa kali sehingga perubahan waktu dapat disimulasikan (Evans *et al*, 2013).



## 2.7 Parameter – Parameter Mikromagnetik *Atomistic Model*

Simulasi mikromagnetik *atomistic model* merupakan simulasi yang menggunakan pendekatan termodinamika dari model atomistik. Beberapa parameter dalam mikromagnetik atomistik model antara lain :

### 2.7.1 Atomik spin momen

Atomik spin momen  $\mu_s$  berhubungan dengan magnetisasi saturasi, dengan persamaan :

$$\mu_s = \frac{M_s a^3}{n_{at}} \quad (2.14)$$

dimana  $M_s$  adalah magnetisasi saturasi pada temperatur 0 K dengan satuan  $JT^{-1}m^{-3}$ ,  $a$  adalah ukuran satuan sel (m), dan  $n_{at}$  adalah jumlah atom per unit sel. Contoh pada BCC Besi (Fe), saat temperatur nol magnetisasi saturasi 1.75 MA/m, ukuran unit sel  $a = 2.866 \text{ \AA}$ , sehingga atomik spin momennya sebesar  $2.22 \mu_B/atom$  (Evans *et al*, 2013).

### 2.7.2 Energi *exchange*

Energi *exchange* merupakan energi yang timbul dari interaksi spin dengan spin tetangganya melalui *exchange coupling* (Djuhana *et al.*, 2013). Energi *exchange* ( $J_{ij}$ ) dari interaksi antara spin dalam material feromagnetik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$J_{ij} = \frac{3k_B T_C}{\epsilon z} \quad (2.15)$$

dimana  $k_B$  merupakan konstanta Boltzmann ( $1,3807 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ ),  $T_C$  adalah temperatur Curie (K),  $z$  adalah jumlah atom tetangga dan  $\epsilon$  adalah faktor koreksi. Nilai faktor koreksi ini tergantung dari struktur kristal dan nilai koordinasinya. Misalkan Cobalt (Co) dengan  $T_C$  1388 K memiliki struktur HCP dengan  $z = 12$ , sehingga energi *exchange* dari Co sebesar  $J_{ij} = 6.064 \times 10^{-21} \text{ J/link}$  (Evans *et al*, 2013).

### 2.7.3 Energi Anisotropi

Energi anisotropi merupakan energi yang mengacu pada arah magnetisasi dan sumbu kristalografi (*crystallographic axis*). Energi anisotropi atomistik magnetokristalin  $k_u$  diturunkan dari anisotropi makroskopik  $K_u$  dengan persamaan berikut :

$$k_u = \frac{K_u a^3}{n_{at}} \quad (2.16)$$

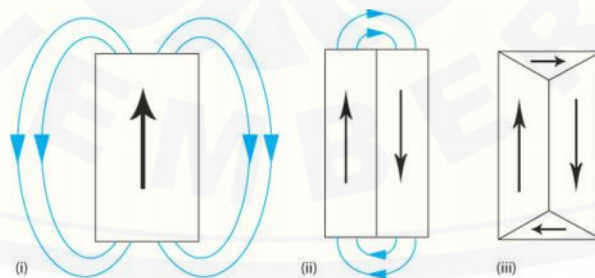
dimana satuan dari  $K_u$  yaitu  $J/m^3$ . Pada penambahan parameter atomistik, ekspresi untuk medan anisotropik  $H_a$  pada partikel single domain dinyatakan sebagai berikut :

$$H_a = \frac{2K_u}{M_s} \frac{2k_u}{\mu_s} \quad (2.17)$$

Energi anisotropi makroskopik akan menurun saat temperatur yang diberikan semakin tinggi serta akan hilang saat temperatur mencapai temperatur kritisnya. (Evans, 2013).

### 2.7.4 Energi Magnetostatik

Energi magnetostatik material magnet berasal dari interaksi muatan kutub positif dan kutub negatif (dipol – dipol) yang berasal dari material itu sendiri.



Gambar 2.8 Pengurangan energi magnetostatik atau energi demagnetisasi akibat orientasi arah dari dipol – dipol magnet (Morison, 2011).

Gambar 2.8 mengilustrasikan bahwa magnetisasi menyebabkan dipol – dipol bersifat sebagai magnet dengan medan magnetik di sekitarnya. Medan magnetik tersebut

dikenal dengan sebutan medan demagnetisasi (*demagnetizing field*). Sehingga energi magnetostatik sering juga disebut sebagai energi demagnetisasi. Besarnya energi magnetostatik sangat bergantung pada jumlah dipol serta arah orientasi arah antara dipol – dipol. Ketika dipol – dipol pada material magnet memiliki orientasi arah yang sama satu dengan yang lainnya, maka energi magnetostatiknya akan lebih besar, seperti pada gambar 2.8 (i), jika dibandingkan dengan material magnet dengan dipol – dipol anti paralel satu dengan lainnya, seperti gambar 2.8 (ii). Sedangkan keadaan dipol – dipol seperti pada gambar 2.8 (iii) menyebabkan energi magnetostatik bernilai minimum. Pada mikromagnetik atomistik model, faktor demagnetisasi diformulasikan sebagai berikut:

$$H_{tot} = H_{ext} + H_{int} - M \cdot N_d \quad (2.18)$$

dimana  $H_{ext}$  adalah medan eksternal dan  $H_{int}$  adalah medan internal dari material,  $M$  adalah magnetisasi dan  $N_d$  adalah faktor demagnetisasi makroskopik (Evans dan Biternas, 2014).

## 2.8 Struktur Domain

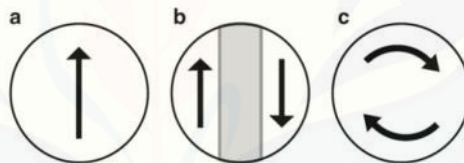
### 2.8.1 Single Domain

Model yang menggambarkan fenomena magnetik pada partikel kecil (*small particles*) pada tahun 1948 disulkan oleh Stoner dan Wohlfarth. Pada model tersebut diasumsikan bahwa partikel magnetik memiliki domain yang homogen (domain tunggal) dengan bentuk elipsoid. Pada keadaan ini magnetisasi dihasilkan oleh dipol – dipol yang searah (baik nilai 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 anisotropi dari total energi sistem adalah nol. Satu – satunya energi yang relevan adalah energi magnetostatik. Sebuah partikel dengan struktur domain tunggal (*single domain*) sering disebut sebagai partikel Stoner-Wolfarth (Mardona, 2012).

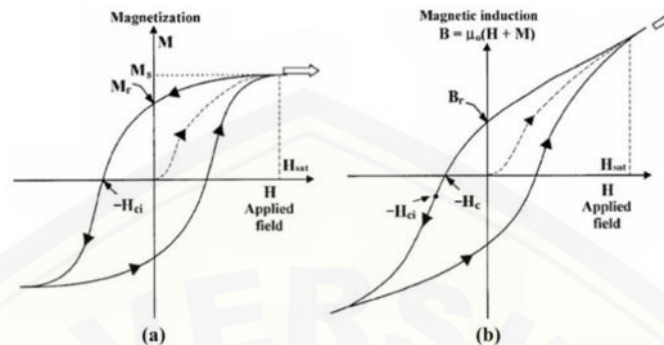
### 2.8.2 *Two Domain* dan *Vortex-state*

Untuk partikel magnetik berbentuk bola, setelah melewati daerah diameter tertentu, yang dikenal sebagai diameter kritis (*critical diameter*), pada umumnya struktur domainnya berubah dari keadaan *single domain* yang ditunjukkan pada gambar 2.9 (a) menjadi *two domain* atau *vortex*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9 (b) dan 2.9 (c). 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*.



Gambar 2.9 Tiga kemungkinan keadaan konfigurasi domain magnet saat energi minimum (*groundstate*) dari partikel magnet bola (*spherical magnetic particle*). (a) *single domain*, (b) *two domain*, (c) *vortex state* (Widodo, 2013)

## 2.9 Kurva Histeresis



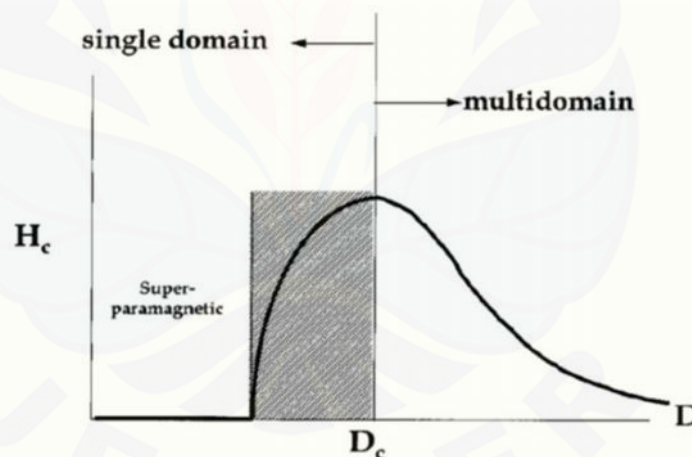
Gambar 2.10 Kurva histeresis untuk material feromagnetik. (a)  $M$  terhadap  $H$ :  $M_r$  adalah magnetisasi remanen;  $H_{ci}$  adalah medan magnet koersivitas intrinsik;  $M_s$  adalah magnetisasi saturasi; (b)  $B$  terhadap  $H$ :  $B_r$  adalah induksi magnet remanen;  $H_c$  adalah medan magnet koersivitas (Sung, 2003)

Karakteristik untuk material feromagnetik dapat dilihat dari bentuk *loop* kurva histeresis, kurva tersebut memetakan magnetisasi material  $M$  untuk kuat medan magnet yang diberikan  $H$ . Ada cara lain dengan memetakan induksi magnet  $B$  di dalam material feromagnetik terhadap kuat medan magnet  $H$ . Kedua cara ini pada dasarnya mengikuti persamaan 2.5, dimana  $B$  adalah induksi magnet (Tesla),  $\mu_0$  adalah permeabilitas ruang hampa,  $H$  adalah medan magnet eksternal ( $A/m$ ),  $M$  adalah magnetisasi ( $A/m$ ).

Kurva histeresis pada gambar 2.10 diperlihatkan bahwa material feromagnetik dengan kondisi awal belum termagnetisasi, selanjutnya medan magnet ( $H$ ) diberikan yang mengakibatkan magnetisasi ( $M$ ) meningkat. Nilai magnetisasi ( $M$ ) meningkat diakibatkan adanya pergerakan domain magnet. Medan magnet ( $H$ ) dan magnetisasi ( $M$ ) akan meningkat sampai dengan keadaan jenuh (saturasi). Keadaan ini dikenal istilah baru yaitu magnetisasi saturasi  $M_s$  dan medan saturasi  $H_{sat}$ . Seluruh momen magnet membentuk domain tunggal yang terorientasi searah dengan medan magnet  $H$ . Medan magnet eksternal direduksi hingga keadaan yang disebut dengan medan nukleasi (*nucleation field*). Medan nukleasi adalah medan awal yang membuat keadaan struktur domain tidak lagi sejajar satu dengan lainnya (saturasi) (Shtrikman,

1957). Medan  $H$  direduksi hingga nol, namun kurva tidak kembali seperti semula tetapi memiliki magnetisasi yang tersisa, nilai ini dinamakan magnetisasi remanen  $M_r$ . Sebagian domain magnet juga tidak kembali seperti orientasi sebelum diberikan medan magnet eksternal  $H$ , sehingga sebagian material termagnetisasi. Proses diberikan pembalikan arah medan magnet  $H$ , hingga magnetisasi  $M = 0$ . Nilai arah medan balik  $H$  saat  $M = 0$  disebut koersivitas, orientasi domain magnet kembali acak.

Pada skala nano, koersivitas yang terjadi pada proses magnetisasi material feromagnetik adalah terhambatnya gerak domain akibat gesekan antar domain dan ukuran material. Ukuran material yang semakin kecil mengakibatkan batas-batas domain hilang, hingga domain-domain mengelompok menjadi satu kesatuan yang disebut *single-domain particle* (Leslie-Pelecky, 1996). Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.11



Gambar 2.11 Kurva perbandingan nilai medan koersivitas terhadap diameter partikel. Ditunjukkan tiga daerah: (1) daerah superparamagnetik dengan medan koersivitas  $H_c = 0$ , (2) daerah antara superparamagnetik hingga diameter kritis  $D_c$ , keadaan berstruktur *single-domain*, (3) daerah di atas diameter kritis  $D_c$ , keadaan berstruktur *multi-domain* (Leslie-Pelecky, 1996)

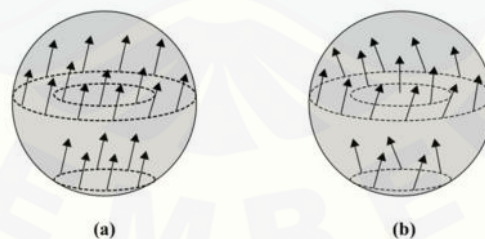
Ada dua jenis koersivitas yang dapat dibentuk melalui penggambaran kurva histeresis, pertama kurva histeresis  $M - H$ , medan koersivitas intrinsik ( $H_{ci}$ ) yaitu kuat medan magnet yang diberikan untuk membuat nilai magnetisasi  $M \rightarrow 0$ . Kedua,

kurva histeresis  $\mathbf{B} - \mathbf{H}$ , medan koersivitas ( $H_c$ ) adalah kuat medan magnet yang diperlukan untuk membuat induksi magnet material  $\mathbf{B} \rightarrow 0$  (Sung, 2003).

Sifat magnetisasi material dapat dikarakterisasi melalui kurva histeresis yang didasarkan oleh parameter, magnetisasi saturasi  $M_s$ , koersivitas  $H_c$  ataupun koersivitas intrinsik  $H_{ci}$ , dan magnetisasi remanen  $M_r$ . Material *soft-magnet* memiliki nilai medan koersivitas dan magnetisasi remanen yang kecil, sehingga bentuk *loop* kurva sangat pipih atau tipis. Sedangkan, material *hard-magnet* memiliki nilai medan koersivitas dan magnetisasi remanen yang besar, sehingga bentuk *loop* kurva sangat tebal. Bentuk *loop* kurva histeresis yang dibutuhkan pada aplikasi perekam magnetik adalah magnetisasi besar, koersivitas besar, dan idealnya berbentuk persegi (Leslie-Pelecky, 1996).

### 2.10 Mekanisme Pembalikan Magnetisasi

Mekanisme pembalikan magnetisasi dibedakan dalam dua jenis yaitu pertama model rotasi koheren (*coherent rotation*) yang terjadi secara seragam dan berputar secara serentak. Selama proses pembalikan, spin – spin dalam partikel selalu mempertahankan keadaan agar tetap paralel antara satu dengan lainnya seperti ditunjukkan pada gambar 2.12 (a). Model pembalikan hanya terjadi pada struktur *single domain* dan sering dikenal sebagai partikel Stoner-Wohlfarth (Coey, 2009).



Gambar 2.12 Mekanisme pembalikan magnetisasi partikel magnetik berbentuk bola (a) rotasi koheren (*coherent rotation*), (b) *curling* (Skomski, 2008).

Model kedua yaitu *curling*, ditunjukkan pada gambar 2.12 (b). Proses pembalikan pada model ini, spin – spin dari partikel membentuk struktur *vortex*. Model ini terbentuk di sebagian besar partikel magnetik yang berbentuk bola dengan diameter di atas diameter kritis (Coey, 2009). Partikel yang berukuran besar,

kontribusi energi *exchange* lebih mendominasi dibandingkan dengan energi magnetostatik, sehingga mekanisme pembalikan model *curling* lebih dipilih oleh sistem dibandingkan rotasi koheren (Skomski, 2008).

### 2.11 Konsep Simulasi Mikromagnetik

Konsep dasar mikromagnetik adalah menggunakan konsep *continuum* yaitu suatu konsep fisika untuk menjelaskan sifat –sifat material feromagnetik pada skala mikro dengan menggunakan pendekatan mekanika klasik dimana fungsi energi sistem yang bersifat kontinu pada kondisi kesetimbangan. Menggunakan konsep *continuum* ini memungkinkan dalam perhitungan distribusi magnetisasi pada sampel dengan bentuk acak. Perhitungannya berdasarkan prinsip minimalisasi pada fungsi energi sistem, sehingga perubahan magnetisasi dan profil energi dapat ditentukan (Ismail, 2013).

Simulasi mikromagnetik dapat dilakukan dengan program *Vampire*. *Vampire* merupakan program simulasi atomistik untuk nanomaterial magnetik. Software ini bertujuan untuk membuat simulasi atomistik dari bahan magnetik yang tersedia secara *open source*. *Software* dirancang dengan berbagai kemudahan dalam penggunaannya, termasuk penentuan parameter masukan untuk mengontrol simulasi melalui file *input*. *Software* ini dapat digunakan untuk menentukan temperatur Curie, kurva histeresis dan pengaruh *heat* pada suatu bahan (Evans *et al*, 2014).

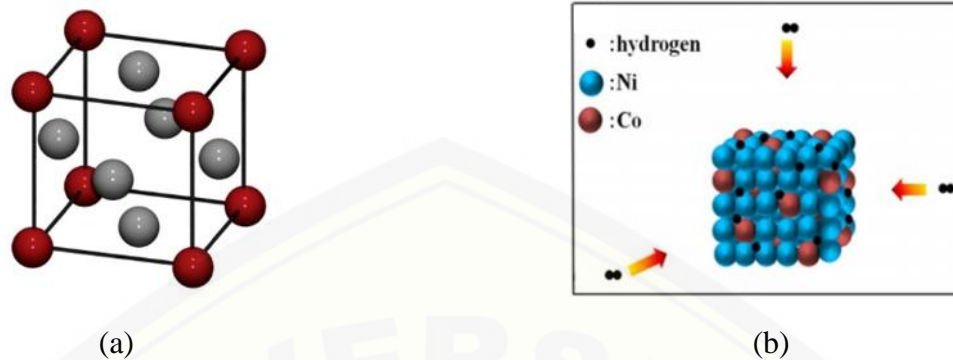
### 2.12 Bahan CoNi

Cobalt (Co) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki struktur kristal HCP. Bahan ini memiliki tekstur kuat dengan nilai magnetik anisotropi tinggi, temperatur Curie yang tinggi serta memiliki koersivitas yang tinggi pula (Ballela, 2008). Parameter – parameter yang dimiliki oleh bahan Cobalt (Co) yaitu *atomic spin moment* ( $\mu_s$ )  $1.72 \mu_B$ , energi *exchange* ( $J_{ij}$ )  $6.064 \times 10^{-21}$  serta energi anisotropi ( $K$ )  $6.69 \times 10^{-24}$  (Evans *et al*, 2013).

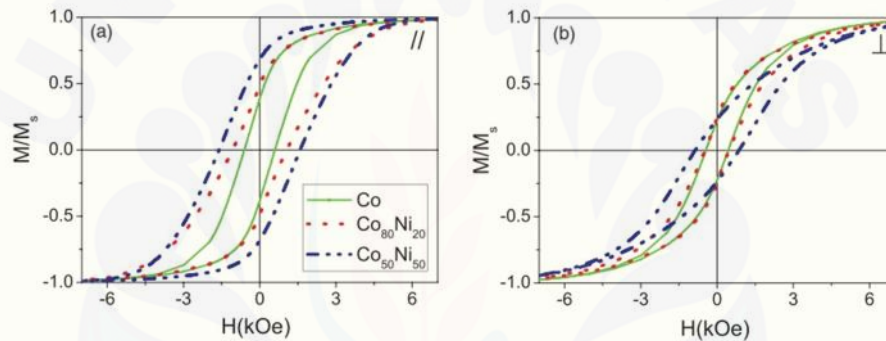


Sedangkan Nickel (Ni) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki struktur kristal FCC. Bahan ini memiliki tekstur kuat, koersivitas tinggi, tahan korosi dan memiliki nilai anisotropi tinggi saat dipadukan dengan logam lainnya (Davis, 2000). Parameter – parameter yang dimiliki oleh bahan Nickel (Ni) yaitu *atomic spin moment* ( $\mu_s$ )  $0.606 \mu_B$ , energi *exchange* ( $J_{ij}$ )  $2.757 \times 10^{-21}$  serta energi anisotropi ( $K$ )  $5.47 \times 10^{-26}$  (Evans *et al*, 2013).

Paduan Cobalt – Nickel (CoNi) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki struktur kristal FCC yang ditunjukkan pada gambar 2.13, dengan sumbu *easy axis* pada arah (111) (Tang, 2006). Bahan paduan ini memiliki sifat – sifat magnetik yang sangat bagus dengan nilai anisotropi sebesar  $8.12 \times 10^{-25}$  J/atom dan temperatur Curie yang tinggi, yaitu sebesar 953 K pada alloy  $Co_{33}Ni_{67}$  (Broeder, 1992). Penelitian yang dilakukan secara eksperimen tentang material CoNi sebelumnya yaitu material  $Co_{55}Ni_{45}$  *nanowires* dengan diameter 8 nm memiliki koersivitas sebesar 132 Oe (Zang *et al*, 2004),  $Co_{50}Ni_{50}$  dan  $Co_{75}Ni_{25}$  *nanowires* dengan diameter 25 nm memiliki koersivitas sebesar 600 Oe dan 820 Oe, pada diameter 45 nm koersivitasnya sebesar 820 Oe dan 780 Oe (Rosa *et al*, 2012),  $Co_{50}Ni_{50}$  dan  $Co_{80}Ni_{20}$  *nanowires* dengan diameter 35 nm dan panjangnya  $2.5 \mu m$  diperlihatkan pada gambar 2.14 memiliki koersivitas sebesar 1590 Oe dan 1070 Oe (Vivas *et al*, 2012) dan  $Co_{95}Ni_{0.5}$  alloy *nanowires* dengan diameter 130 nm dan panjang  $20 \mu m$  memiliki koersivitas sebesar 145 Oe (Vega *et al*, 2012). Sehingga bahan CoNi sangat bagus dimanfaatkan sebagai katalis, sistem mikroelektromekanik, alat mikro biomedical, dan magnetik *recording* (Rafique *et al*, 2013).



Gambar 2.13 (a) Struktur kristal FCC dan (b) struktur kristal FCC dari bahan  $\text{Co}_{20}\text{Ni}_{80}$  dengan pemberian Hidrogen pada material tersebut (Rafique *et al*, 2013).



Gambar 2.14 Kurva histeresis dari bahan Co,  $\text{Co}_{80}\text{Ni}_{20}$  dan  $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$  dengan diameter 35 nm dan panjangnya  $2.5 \mu\text{m}$  (a) sejajar dengan medan luar dan (b) tegak lurus dengan medan luar (Vivas *et al*, 2012).

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fisika Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Penelitian dilakukan mulai bulan Maret 2016 sampai selesai.

### 3.2 Alat Penelitian

Adapun minimal peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

#### 1. Komputer

Processor : Intel (R) Core (TM) i3-4170 CPU @ 3.70 GHz  
Installed memory (RAM) : 2.00 GB  
Sistem type : 64-bit *Operating System*, x64 based processor  
OS : *Windows*

#### 2. Program atau aplikasi yang digunakan pada simulasi antara lain:

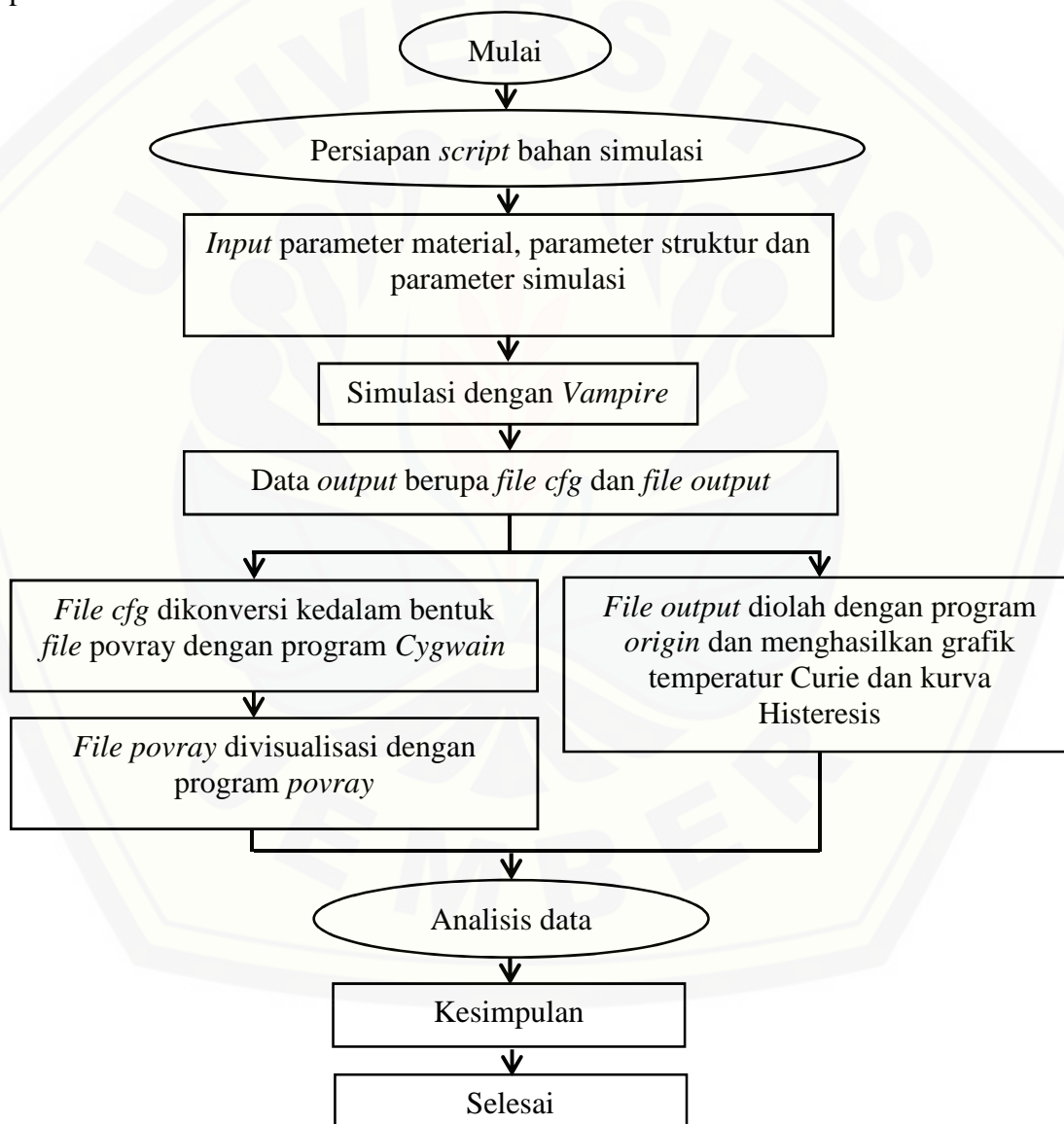
- a. *Vampire* untuk running simulasi mikromagnetik berbasis atomistik model.
- b. *Origin* untuk membuat grafik dari pengolahan data simulasi.
- c. *Povray* untuk membuat visualisasi struktur domain dalam 3 dimensi.
- d. *Cygwin* untuk mengkonversi *file cfg* kedalam bentuk *file povray*

### 3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut:

#### 3.3.1 Diagram Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan secara umum digambarkan dengan diagram penelitian berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.3.2 Langkah Kerja

Langkah kerja dalam penelitian studi sifat - sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi Co dan Ni menggunakan simulasi mikromagnetik, antara lain:

#### A. Penentuan Parameter Bahan CoNi

Parameter bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  untuk simulasi mikromagnetik terdiri dari parameter : *Atomic spin momen*  $\mu_s$ , *energy exchange* A dan K adalah konstanta anisotropi sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 3.1. Ukuran bahan pada simulasi ini yaitu 5 nm dengan model geometri nano kubik.

Tabel 3.1 Parameter bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  yang digunakan dalam simulasi mikromagnetik

Bahan	$\mu_s$ (eB)	J (J/link)	K (J/atom)
Co	1.72 *	$6.064 \times 10^{-21}$ *	$6.69 \times 10^{-24}$ *
Ni	0.606 *	$2.757 \times 10^{-21}$ *	$5.47 \times 10^{-26}$ *
CoNi		$4.164 \times 10^{-21}$ **	$8.12 \times 10^{-25}$ ***

Sumber : (\* Evans *et al*, 2013, \*\* Broeder, 1992, \*\*\* Vivas *et al*, 2012).

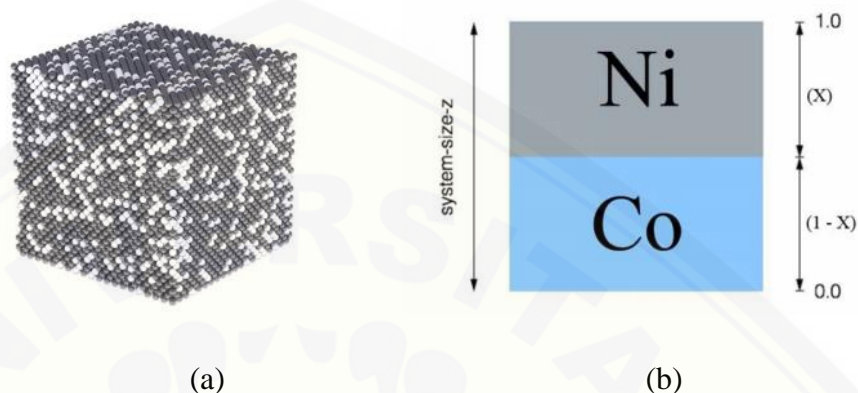
#### B. Simulasi Mikromagnetik

Simulasi mikromagnetik pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, antara lain:

1. Simulasi untuk mencari temperatur Curie bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers*.

Simulasi untuk penentuan temperatur Curie bahan dilakukan dengan membuat *file script input* dan *file script material*. Setelah selesai dibuat maka diletakkan dalam satu folder beserta *software Vampire*. Simulasi mikromagnetik dijalankan dengan ukuran bahan sebesar 5 nm dengan geometri kubik (*cuboid*) dan dengan dua bentuk yaitu *random alloy* (susunan

atomnya acak) dan *double layers* (susunan atomnya berlapis) serta variasi komposisi dari bahan Co dan Ni.



Gambar 3.2 Struktur material (a) bentuk *Random Alloy* dan (b) bentuk *Double Layers*

Tabel variasi komposisi bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  yang akan dilakukan pada penelitian ini diperlihatkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Variasi komposisi bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam penentuan temperatur Curie.

No	Komposisi Bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$
1	$\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$
2	$\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$
3	$\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$
4	$\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$
5	$\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$
6	$\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$
7	$\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$

Variasi komposisi dari bahan CoNi ini bertujuan untuk memperoleh komposisi optimum (terbaik) dari bahan CoNi, terutama temperatur Curie dan kurva histeresis. Sedangkan penentuan geometri kubik dan penentuan temperatur Curie ini mengacu pada penelitian sebelumnya yakni penelitian secara eksperimen yang dilakukan oleh Broeder (1992) yang menunjukkan bahwa temperatur Curie material  $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$  alloy sebesar  $680^\circ\text{C}$  atau 953 K dan dengan geometri yang digunakan adalah kubik.

2. Simulasi untuk pembuatan kurva histeresis dengan pengaruh temperatur dari bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers*.

Simulasi untuk pembuatan kurva histeresis dilakukan pada ukuran 5 nm dengan geometri kubik (*cuboid*) dan dengan dua bentuk yaitu *random alloy* dan *double layers* serta dengan variasi komposisi dan pengaruh temperatur yaitu:

Tabel 3.3 Variasi komposisi dan pengaruh temperatur bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$  *random alloy* dan *double layers* dalam pembuatan kurva histeresis.

No	Komposisi Bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$	Pengaruh Temperature (K)			
1	$\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$				
2	$\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$				
3	$\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$				
4	$\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$	0	328	473	900
5	$\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$				
6	$\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$				
7	$\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$				

Simulasi dilakukan dengan membuat *file script* terlebih dahulu dan diletakkan dalam satu folder dengan *software Vampire* dalam tiap komposisi dari bahan  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ . Setelah itu simulasi dijalankan.

Pengaruh temperatur 328 K pada penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Asrofi (2013) yang menunjukkan suhu HDD saat komputer hidup dalam kondisi bekerja yaitu sebesar  $55^{\circ}\text{C}$  atau 328 K, sedangkan pengaruh temperatur  $200^{\circ}\text{C}$  atau 473 K merupakan temperatur di atas *overheat* dari HDD, yang mengacu pada suhu *overheat* HDD sebesar  $66^{\circ}\text{C}$  atau 239 K (Sugiarto, 2013).

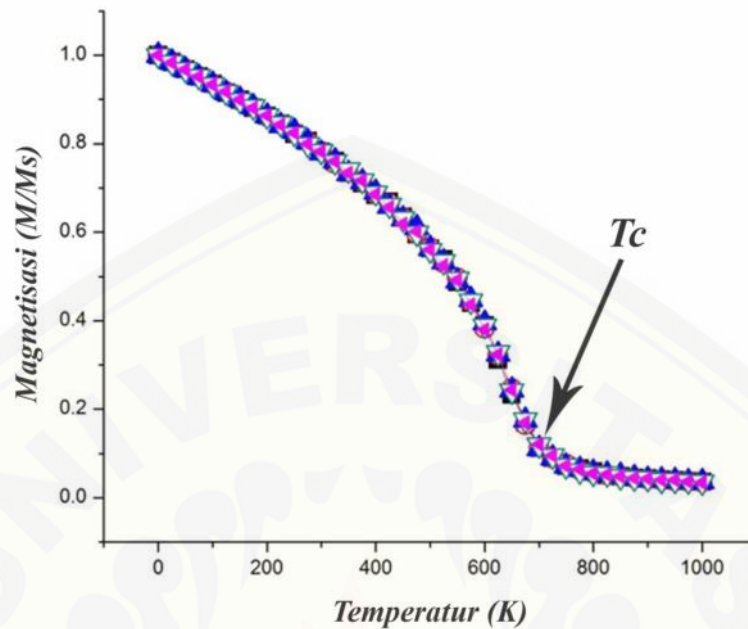
#### 2.4 Metode Analisis

Langkah – langkah menganalisis hasil simulasi antara lain:

1. Metode analisis simulasi untuk menentukan temperatur Curie bahan CoNi

Hasil Simulasi untuk grafik penentuan temperatur Curie akan dianalisis menggunakan program *Origin*. Analisis akan dilakukan dengan membuat kurva antara magnetisasi dan temperatur. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan magnetisasi terhadap bertambahnya temperatur dari bahan CoNi.





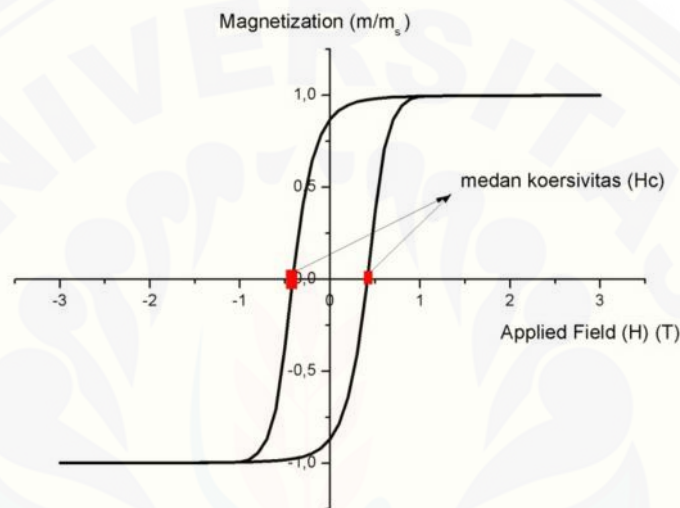
Gambar 3.3 Grafik penentuan temperature Curie pada program *Origin*

Karakteristik dari material feromagnetik dapat dilihat dari temperatur Curie ( $T_c$ ). Temperatur Curie ( $T_c$ ) sendiri didefinisikan sebagai temperatur kritis, pada keadaan ini fase magnetik bertransisi dari konfigurasi struktur magnetik yang teratur menjadi tidak teratur. Semakin tinggi temperatur Curie ( $T_c$ ) yang dimiliki bahan maka semakin bagus pula bahan feromagnetik tersebut. Cara menentukan temperatur Curie ( $T_c$ ) melalui grafik yaitu dengan meninjau titik antara temperatur dan magnetisasi. Ketika titik tersebut mendekati nol pada sumbu magnetisasi, maka pada titik tersebut dapat dikatakan sebagai titik temperatur Curie dari material feromagnetik. Temperatur Curie ( $T_c$ ) pada penelitian ini mengacu pada bahan  $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$  alloy yaitu sebesar 953 K (Broeder, 1992), sehingga temperatur curie pada bahan  $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$  alloy hasil penelitian akan dibandingkan dengan referensi untuk mengetahui ketepatan atau *error* dari penelitian ini, yaitu dengan formula berikut :

$$\text{error} = \frac{T_{C(\text{ref})} - T_{C(\text{exp})}}{T_{C(\text{ref})}} \times 100\% \quad (3.1)$$

## 2. Metode analisis simulasi untuk pembuatan kurva histeresis bahan CoNi

Hasil simulasi untuk pembuatan kurva histeresis akan dianalisis menggunakan program *Origin*. Analisa akan dilakukan dengan membuat kurva antara magnetisasi dan medan. Hal ini dilakukan untuk melihat medan saturasi dan medan koersivitas yang terbentuk dari bahan CoNi.



Gambar 3.4 Grafik kurva histeresis pada program *Origin*

Karakteristik material feromagnetik juga dapat dilihat dari bentuk loop kurva histeresisnya. Kurva histeresis diperoleh dengan memetakan magnetisasi material  $M$  dengan besar kuat medan magnet yang diberikan  $H$ . Dengan kurva histeresis ini, dapat menentukan *soft* magnet dan *hard* magnet dari bahan feromagnetik yang ditinjau dari bentuk loop kurva histeresis dan medan koersivitas ( $H_c$ ). Jika kurva histeresis material feromagnetik berbentuk pipih atau tipis dengan medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih kecil dari 125 Oe ( $H_c = 0.002 - 125$  Oe) (Coey, 2009), maka tergolong ke dalam *soft* magnet. Sedangkan material feromagnetik tergolong *hard* magnet jika loop kurva histeresis yang terbentuk lebar atau tebal dengan medan koersivitas ( $H_c$ ) lebih besar dari 125 Oe (Furlani, 2011).

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini yang berjudul studi sifat – sifat magnetik material feromagnetik  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_x$  *random alloy* dan *double layers* dalam berbagai komposisi bahan Co dan Ni menggunakan simulasi mikromagnetik diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Temperatur Curie bahan CoNi yang berbentuk *Random Alloy* diperoleh hasil yaitu :  $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$  sebesar 800 K,  $\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$  sebesar 900 K,  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$  sebesar 950 K,  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$  1000 K,  $\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$  1750 K,  $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$  1150 K, dan  $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$  1250 K. Sedangkan nilai temperatur Curie yang diperoleh dari bahan CoNi yang berbentuk *double layers* yaitu :  $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$  sebesar 1200 K,  $\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$  sebesar 1250 K,  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$  sebesar 1300 K,  $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$  1325 K,  $\text{Co}_{0.6}\text{Ni}_{0.4}$  1350 K,  $\text{Co}_{0.7}\text{Ni}_{0.3}$  1375 K, dan  $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$  1385 K. Variasi komposisi Co dan Ni berpengaruh pada temperatur Curie CoNi, temperatur Curie akan meningkat seiring meningkatnya dari komposisi bahan Co. Temperatur Curie yang dimiliki bahan CoNi yang berbentuk *double layers* lebih tinggi dari pada bahan CoNi yang berbentuk *random alloy*.
2. Peningkatan medan saturasi dan medan koersivitas pada karakteristik kurva histerisis dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers* dipengaruhi oleh variasi komposisi Co dan Ni. Umumnya medan saturasi dan medan koersivitas akan meningkat seiring meningkatnya komposisi dari bahan Co. Medan saturasi dan medan koersivitas yang dimiliki bahan CoNi yang berbentuk *random alloy* lebih tinggi dari pada bahan CoNi yang berbentuk *double layers*.

Pengaruh temperatur terhadap kurva histerisis dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers* diperoleh hasil yaitu : terdapat empat pola perbedaan perubahan medan saturasi dan medan koersivitas. Pola pertama yaitu terjadi pada temperatur

0 K. Pola kedua (328 K), pola ketiga (473 K) dan pola keempat (900 K) terjadi pada saat medan saturasi dan medan koersivitas menunjukkan pola menurun seiring bertambahnya temperatur. Bahkan pada pola keempat ada tiga variasi komposisi bahan CoNi *random alloy* ( $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$ ,  $\text{Co}_{0.33}\text{Ni}_{0.67}$  dan  $\text{Co}_{0.4}\text{Ni}_{0.6}$ ) dan satu komposisi bahan CoNi *double layers* ( $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$ ) yang menunjukkan kurva histeresisnya rusak dan tidak diperoleh nilai medan saturasi dan medan koersivitasnya.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui temperatur Curie, medan koersivitas dan medan saturasi dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers* berbagai komposisi bahan Co dan Ni menggunakan simulasi mikromagnetik. Namun terdapat beberapa hal yang masih perlu dilakukan untuk penelitian lebih lanjut, diantaranya bervariasi ukuran dari bahan CoNi, misal dengan ukuran 10 nm, 15 nm, 20 nm dan lain sebagainya. Dengan demikian, selain dapat ditentukan diameter kritisnya juga dapat ditentukan pengaruh variasi ukuran bahan terhadap temperatur Curie dari bahan CoNi *random alloy* dan *double layers*. Serta dapat ditentukan pengaruh variasi ukuran bahan terhadap kurva histeresis yang terbentuk pada bahan CoNi *random alloy* dan *double layers*, terutama nilai medan saturasi dan medan koersivitasnya.

## DAFTAR PUSTAKA

### Buku :

- Alvarez, G. S. 2008. *Cubic versus spherical magnetic nanoparticles: the role of surface anisotropy*. J. Am. Chem. Soc. 130.
- Callister, W. D. 2012. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*. University Of Utah : John Willey and Sons, Inc.
- Christman, J.R.. 1988. *Fundamental of Solid State Physics*. New York : John Willey and Sons.
- Coey, J. M. D. 2009. *Magnetism and Magnetic of Materials*. New York: Cambridge University Press.
- Davis, J.R.. 2000. *Nickel, Cobalt, and Their Alloy*. Chagrin Falls Ohio : ASM International.
- Evans, F.L. dan Biternas, A.. 2014. *Vampire User Manual : Software Version 4.0*. The University of York, York, YO10 5DD : Departement of Physics.
- Furlani, E. P. 2011. *Permanent Magnet and Electromechanical Device (Material, Analysis, and Application)*. USA : Academic Press.
- Leslie-Pelecky, D.L. 1996. *Magnetic Properties of nanostructured materials*. Chem. Mater. 8. 1770-1783.
- Pahuja, O. M. P. 2005. *Solid State Physics*. New Delhi : Ajit Printer Maujpur.
- Puri, R. K dan Babbar, V. K.. 2001. *Solid State Physsics and Elektronik*. New Delhi: S. Chand and Company LTD.
- Sclater, N. 1999. *Electronic Technology Handbook*. New York : Mc Graw Hill.
- Shtrikman, S., Frei, E.H., dan Treves, D. 1957. *Critical size and nucleation field of ideal ferromagnetic particles*. Phys. Rev. 106.
- Skomski, R. 2008. *Simple Models of Magnetism*. Oxford University Press.
- Tipler, P.A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Tehnik Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.

### Disertasi :

- Rohman, L. 2013. *Investigasi Sifat-sifat Magnetik Bahan LSMO ( $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ) untuk Aplikasi Storage Device dengan Menggunakan Modeling Mikromagnetik*. Jember: Fisika-MIPA-Universitas Jember.

## Handbook :

- Siregar, H. 2002. *Metode Pemisahan Secara Magnetik : Aplikasi Fisika Magnet dalam Alat Proses Teknik Kimia*. Sumatra : Universitas Sumatera Utara.
- Morison, J. 2011. *The Demagnetizing Field and Demagnetization Factor*. Boston : Northeastern University.

## Jurnal :

- Asrofi dan Purnama, B.E. 2013. Rancang Bangun Alat Kontrol Otomatis Pendingin Komputer Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8L. Indonesian Journal on Networking and Security (IJNS) Volume 2 No 2 – April 2013 – ISSN : 2302-5700.
- Ballela, M.D.L.. 2008. *Synthesis and Characterization of Cobalt Nanoparticles Prepared by Liquid-Phase Reduction*. University Sains Malaysia.
- Broeder, F.J.A. 1992. *Co/Ni multilayers with perpendicular magnetic anisotropy : kerr effect and thermomagnetic writing*. Appl. Phys. Lett., Vol. 61, No. 12,21 september 1992.
- Djamal, M. 2006. *Pengukuran Medan Magnet Lemah Menggunakan Sensor Fluxgate dengan Satu Koil Pick-Up*. Bandung : Institut Teknologi Bandung.
- Dobisz, E.A. 2008. *Patterned media: Nanofabrication challenges of future disk drives*. Proceedings of the IEEE, 96, 11.
- Istiyono, E. 2009. *Analisis Sifat Magnetik Bahan yang Mengalami Proses Annealing and Quenching*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- Kundig, A.A., Abe, N., Ohnuma, M., Ohkubo, T., Mamiya, H., dan Hono, K. 2004. *Rapidly Solidified FePt<sub>70</sub>P<sub>30</sub> Alloy With High Coercivity*. Appl. Phys. Lett., Vol. 85, No. 5, 02 Agustus 2004.
- Luo, C.P. dan Sellmyer, D.J. 1995. *Magnetic Properties and Structure of Fe/Pt Thin Films*. IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 31, No. 6, November 1995.
- Peng, D.L., Hihara, T., dan Sumiyana, K. 2003. *Formation and Magnetic Properties of Fe-Pt Alloy Clusters by Plasma-Gas Condensation*. Appl. Phys. Lett., Vol. 83, No. 2 : 350-352.
- Purnama, B., Ismail dan Suharyana. 2013. Kajian Simulasi Mikromagnetik: Ketergantungan Medan Koersif dengan Besaran Intrinsik Nano-Dot Magnetik dengan Anisotropi Tegak Lurus. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 9 (1): 30-33.

- Puryanti, D. 2013. *Identifikasi Pencemaran Air Permukaan Sungai By Pass Kota Padang Dengan Metode Suseptibilitas Magnet*. Padang : Universitas Andalas.
- Rafique., Yasir, M., Liqing, P., dan Zubair, I.M. 2013. *Fabrication of CoNi alloy hollow-nanostructured microspheres for hydrogen storage application*. Springer : DOI 10.1007/s11051-013-1768-1
- Rosa, W.O., Vivas, L.G., Pirola, K.R., Asenjo, A., dan Vazquez, M.. 2012. *Influence of aspect ratio and anisotropy distribution in ordered CoNi nanowire array*. *J. Magn Magn Mater* **324**:3679-3682.
- Sadnawanto, W. dan Purnama, B.. 2014. Modifikasi Model Thermally pada Heat Assisted Magnetisasi Reversal Nano Partikel Magnetik. *Jurnal MIPA*, ISSN: 0215-9945. **37** (2): 136-140.
- Salamah, U. dan Suharyadi, E. 2014. *Analisa Pergeseran Magnetic Domain Wall pada Lapisan Tipis Free Layer Co/Pd terhadap Pengaruh Dimensi Sample*. *Jurnal Fisika Indonesia* No : 53, Vol **XVIII**, Edisi Agustus 2014 ISSN : 1410-2994.
- Shima, T., Takanashi, K., Li, G.Q., Ishio, S. 2003. *Microstructure and Magnetic Properties for Highly Coercivity FePt Sputtered Films*. *Material transactions*, Vol. **44**. No. 8 (2003) pp. 1508 - 1513.
- Sulanjari, Winda Noor Santi, Annisa Ayu Artanti, Edi Suharyadi, Takeshi Kato dan Satoshi Iwata. 2014. Kajian Sifat Kemagnetan pada NanoPartikel *Cobalt Ferrite* (CoFeO) yang dicoating dengan *Polyethylene Glykol* (PEG-4000) dan Silika. *Jurnal Fisika Indonesia*, ISSN: 1410-2994. **18** (54): 103-107.
- Sawitri, Dyah, dan Astari, R.R. 2010. *Pengaruh Variasi Komposisi Dan Proses Pendinginan Terhadap Karakteristik Magnet Barrium Ferrite*. Surabaya: Insitut Teknologi Sepuluh November.
- Subekti. 2010. *Pengukuran Anisotropi Suseptibilitas Magnetik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Sudjatmoko. 2005. Kajian Sifat Bahan Lapisan Tipis Feromagnetik NiFe Hasil Deposisi Dengan Teknik Evaporasi Hampa. *Jurnal GANENDRA*, ISSN: 1410-6957. **8** (2): 37-43.
- Sugiarto, Dewi, T., Handayani, I.P., dan Iskandar, R.F.. Analisis dan Simulasi Distribusi Panas pada *Heat Sink Processor* CPU dengan *Comsol Multiphysics*. Teknik Fisika - Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom.
- Sung, H.W.F. dan Rudowicz, C. 2003. *Physics behind the magnetic hysteresis loop-a survey of misconceptions in magnetism literatur*. *J. Magn. Magn, Mater*. 260.

- Tang, X.T., Wang, G.C., dan Mutsuhiro. 2006. *Magnetic layer thickness dependence of magnetization reversal in electrodeposited CoNi/Cu multilayer nanowires*. *Journal of magnetism and magnetic materials* 309 (2007) 188-196.
- 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.
- Vega, V., Bohnert, T., Martens, S., Waleczek, M., Montero-Moreno, J.M., Gorlitz, D., Prida, VM., dan Nielsch, K.. 2012. *Tuning magnetic anisotropy of CoNi nanowires : comparison anodic aluminum oxide membranes*. *Nanotechnology* **23**:465709.
- Vivas, L.G., Vazquez, M., Escrig, J., Allende, S., Altbir, D., Leitao D.C. dan Araujo, J.P.. 2012. *Magnetic Anisotropy in CoNi Nanowire Arrays : Analytical Calculations and Experiments*. *PHYSICS Review B* **85**, 035439.
- Warsiti. 2005. *Studi Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Struktur Kristal Dan Magnetoresistansi Permalloy NiFe Hasil Elektrodeposisi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Zhang, X.Y., Xu, L.H., Dai, J.Y., dan Chan, H.L.W.. 2004. *Fabrication and magnetic behavior of CoNi nanowire arrays with small diameters*. *Phy B* **353**:187-191.
- Zhu, M., Wilson, J., Sheu, B.L., Mitra, P., Schiffer, p., dan Samarth, N. 2007. *Spin Valve Effect in Self-Exchange Biased Ferromagnetic Metal/Semiconductor Bilayer*. *PACS No.* **75.50** Pp,75.75.+a, 81.16.-c.

## Riset :

- Djuhana, D., Nursiyanto, W. dan Oktri, D.K.H. 2013. *Analisis Spektrum Suseptibilitas dan Struktur Domain Magnet dengan Modeling Time Resolved Imaging Micromagnetic dan Pengukuran Absorpsi Gelombang Mikro Menggunakan Vektor Network Analyzer (VNA) pada Material NanoFerromagnet*. Jakarta: Universitas Jakarta.



**Tesis :**

Evans, R. F. L., Fan, W. J., Chureemart, P., Ostler, T. A., Ellis, M. O. A., dan Chantrell, R. W.. 2013. *Atomistic spin model simulations of magnetic nanomaterials*. York: The University of York.

Ismail. 2013. *Studi Mikromagnetik Proses Magnetisasi Dan Spektrum Suseptibilitas Feromagnetik Elemen Diamond Shaped*. Jakarta: Universitas Jakarta.

Mardona. 2012. *Dinamika Domain Wall Dan Efek Anisotropi Pada Material Feromagnet Co Dan Ni Berbentuk Nanowire*. Jakarta: Universitas Jakarta.

Widodo, A.T. 2013. *Studi Mikromagnetik Dinamika Struktur Domain Pada Material Feromagnetik Py, Ni, Fe Dan Co Model Nanosphere*. Jakarta: Universitas Jakarta.

