



**ANALISIS TEMPERATUR CURIE DAN KURVA HISTERISIS  
MATERIAL ALLOY  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  MODEL NANOCUBE  
DENGAN SIMULASI MIKROMAGNETIK**

**SKRIPSI**

Oleh

**Alfia Endah Wahyuningsih  
NIM 141810201032**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**ANALISIS TEMPERATUR CURIE DAN KURVA HISTERISIS  
MATERIAL  $ALLOY Co_{(1-x)}Pt_{(x)}$  MODEL *NANOCUBE*  
DENGAN 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

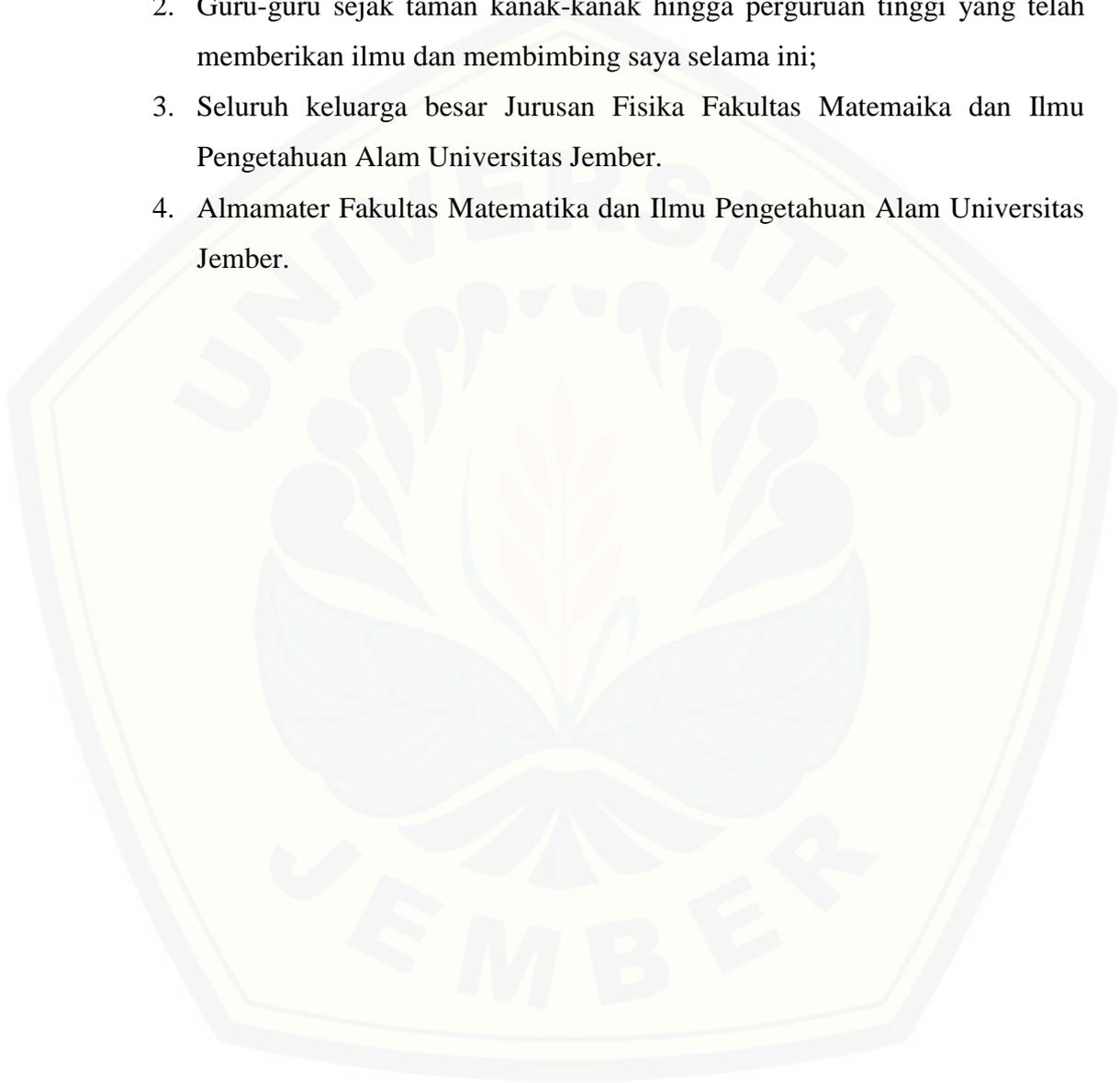
**Alfia Endah Wahyuningsih  
NIM 141810201032**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk :

1. Ibunda Istiana dan Ayahanda Imam Bajuri yang tercinta;
2. Guru-guru sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama ini;
3. Seluruh keluarga besar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
4. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



**MOTTO**

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Terjemahan QS. Ash-Sarh:5-6)<sup>\*)</sup>



---

<sup>\*)</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 2012. *Al-Hadi: Al Qur'an Terjemah Per Kata Latin dan Kode Tajwid*. Jakarta: Penerbit Satu Warna.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfia Endah Wahyuningsih

NIM : 141810201032

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Analisis Temperatur Curie dan Kurva Histerisis Material *Alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  Model *Nanocube* dengan 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.

Dengan 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, 31 Oktober 2018

Yang menyatakan,

Alfia Endah Wahyuningsih

141810201032

**SKRIPSI**

**ANALISIS TEMPERATUR CURIE DAN KURVA HISTERISIS  
MATERIAL ALLOY  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  MODEL NANOCUBE  
DENGAN SIMULASI MIKROMAGNETIK**

Oleh

Alfia Endah Wahyuningsih  
NIM 141810201032

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “ Analisis Temperatur Curie dan Kurva Histerisis Material *Alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  Model *Nanocube* dengan Simulasi Mikromagnetik ” karya Alfia Endah Wahyuningsih 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.

Wenny Maulina, S.Si., M.Si.

NIP. 197208201998021001

NIP. 198711042014042001

Anggota II,

Anggota III,

Nurul Priyantari, S.Si., M.Si.

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.

NIP. 197003271997022001

NIP. 198111112005012001

Mengesahkan,

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

## RINGKASAN

**Analisis Temperatur Curie dan Kurva Histerisis Material Alloy  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  Model *Nanocube* dengan Simulasi Mikromagnetik** ; Alfia Endah Wahyuningsih, 141810201032: 54 Halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

*Hard Disk Drive* (HDD) merupakan media penyimpanan data magnetik pada komputer yang digunakan untuk menyimpan data digital dalam jangka waktu yang lama. Material yang dapat digunakan dalam pembuatan HDD adalah material feromagnetik. Material feromagnetik merupakan material yang memiliki sifat kemagnetan yang baik jika dibandingkan dengan material magnetik lainnya. Beberapa material feromagnetik yaitu besi (Fe), Nikel (Ni), Cobalt (Co) dan paduannya (*alloy*). Salah satu material magnetik yang dapat dijadikan pembuatan HDD adalah *alloy* CoPt. Hal ini karena material *alloy* CoPt memiliki temperatur Curie yang tinggi, serta tahan terhadap korosi.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis nilai temperatur Curie dan kurva histerisis material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  pada variasi komposisi nilai  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$  dan  $0.5$  model *nanocube*. Penelitian penentuan nilai temperatur Curie dilakukan dengan variasi ukuran sisi kubik sebesar 5 nm, 10 nm, 15 nm, dan 20 nm. Penentuan nilai koersivitas dari kurva histerisis dilakukan pada variasi temperatur yaitu 0 K, 328 K, 339 K, dan temperatur di atas nilai temperatur Curie. Nilai temperatur Curie didapatkan dari hubungan magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur. Kurva histerisis didapatkan dari hubungan antara magnetisasi terhadap medan eksternal.

Penelitian dilakukan secara komputasi dengan menggunakan metode simulasi mikromagnetik dengan program *Vampire*. Diawali dengan mengidentifikasi tentang permasalahan yang terkait dengan kapasitas media penyimpanan magnetik. Tahap selanjutnya melakukan kajian pustaka dengan mengumpulkan sumber-sumber data yang berupa buku jurnal, skripsi, tesis dan internet guna memperoleh parameter *input* material yang akan disimulasikan. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *software Vampire, Origin, Povray, dan Cygwin*. Simulasi dilakukan dengan membuat *file script input* dan *file script material*. *File script input* diantaranya berisi struktur material, unit sel, ukuran material, temperatur minimum dan temperatur maksimum serta data *output*. *File script material* berisi konstanta *exchange*, konstanta anisotropi, momen spin atom, dan faktor redaman dan fraksi *alloy* (komposisi material). Setelah *file script input* dan *file script material* selesai dibuat, kemudian diletakkan dalam satu folder. Kemudian simulasi mikromagnetik dijalankan dengan menggunakan program *Vampire* untuk mendapatkan data *output*. Data *output* yang digunakan untuk menganalisis temperatur Curie yaitu magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur dengan cara menggabungkannya menjadi sebuah grafik. Kemudian untuk menganalisis kurva histerisis yaitu dengan menggunakan data *output* magnetisasi terhadap medan eksternal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi dan variasi ukuran sisi kubik mempengaruhi nilai dari temperatur Curie. Semakin besar variasi komposisi Co yang diberikan maka temperatur Curie yang diperoleh akan semakin tinggi. Pada variasi ukuran sisi kubik ketika semakin besar ukuran sisi kubik maka nilai temperatur Curie akan semakin meningkat. Temperatur Curie tertinggi pada material *alloy*  $\text{Co}_{0,9}\text{Pt}_{0,1}$  ketika ukuran 5 nm menghasilkan temperatur Curie sebesar 1250 K, ukuran 10 nm menghasilkan temperatur Curie sebesar 1275 K dan ketika ukuran 15 nm dan 20 nm menghasilkan temperatur Curie yang sama sebesar 1300 K. Variasi ukuran sisi kubik akan mempengaruhi dari kapasitas penyimpanan data. Semakin besar ukuran sisi kubik material, maka akan menurunkan kapasitas penyimpanan data. Komposisi terbaik material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  yaitu  $\text{Co}_{0,9}\text{Pt}_{0,1}$  dengan ukuran 5 nm.

Perubahan medan koersivitas pada karakteristik kurva histerisis material *alloy* CoPt dipengaruhi oleh variasi temperatur dan variasi komposisi. Besar medan koersivitas memiliki pola meningkat seiring bertambahnya komposisi Co. Pada komposisi material  $\text{Co}_{0,5}\text{Pt}_{0,5}$ ,  $\text{Co}_{0,6}\text{Pt}_{0,4}$ , dan  $\text{Co}_{0,7}\text{Pt}_{0,3}$  seiring bertambahnya temperatur akan menurunkan medan koersivitas. Pada komposisi  $\text{Co}_{0,8}\text{Pt}_{0,2}$  dan  $\text{Co}_{0,9}\text{Pt}_{0,1}$  medan koersivitasnya meningkat seiring bertambahnya temperatur. Hal ini menunjukkan bahwa sifat kemagnetan dari material tersebut semakin kuat, karena ketika diberikan temperatur yang tinggi maka menghasilkan medan koersivitas yang lebih besar. Material  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  termasuk *hard magnet* karena medan koersivitas hasil simulasi lebih dari 10 kA/m atau setara dengan 0.0125 T. Pengaruh temperatur terhadap kurva histerisis berdasarkan hasil simulasi terdapat 4 pola kurva histerisis yang terbentuk. Pola pertama yaitu kurva histerisis pada temperatur 0 K, pola kedua (328 K), pola ketiga (339 K) dan pola keempat di atas nilai temperatur Curie. Pada pola pertama, kedua, dan ketiga diperoleh medan koersivitas dari kurva histerisis, sedangkan pada pola keempat kurva histerisis mengalami kerusakan karena temperatur yang diberikan melebihi temperatur Curie yang dimiliki material sehingga tidak diperoleh medan koersivitas.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Temperatur Curie dan Kurva Histerisis Material *Alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  Model *Nanocube* dengan Simulasi Mikromagnetik”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

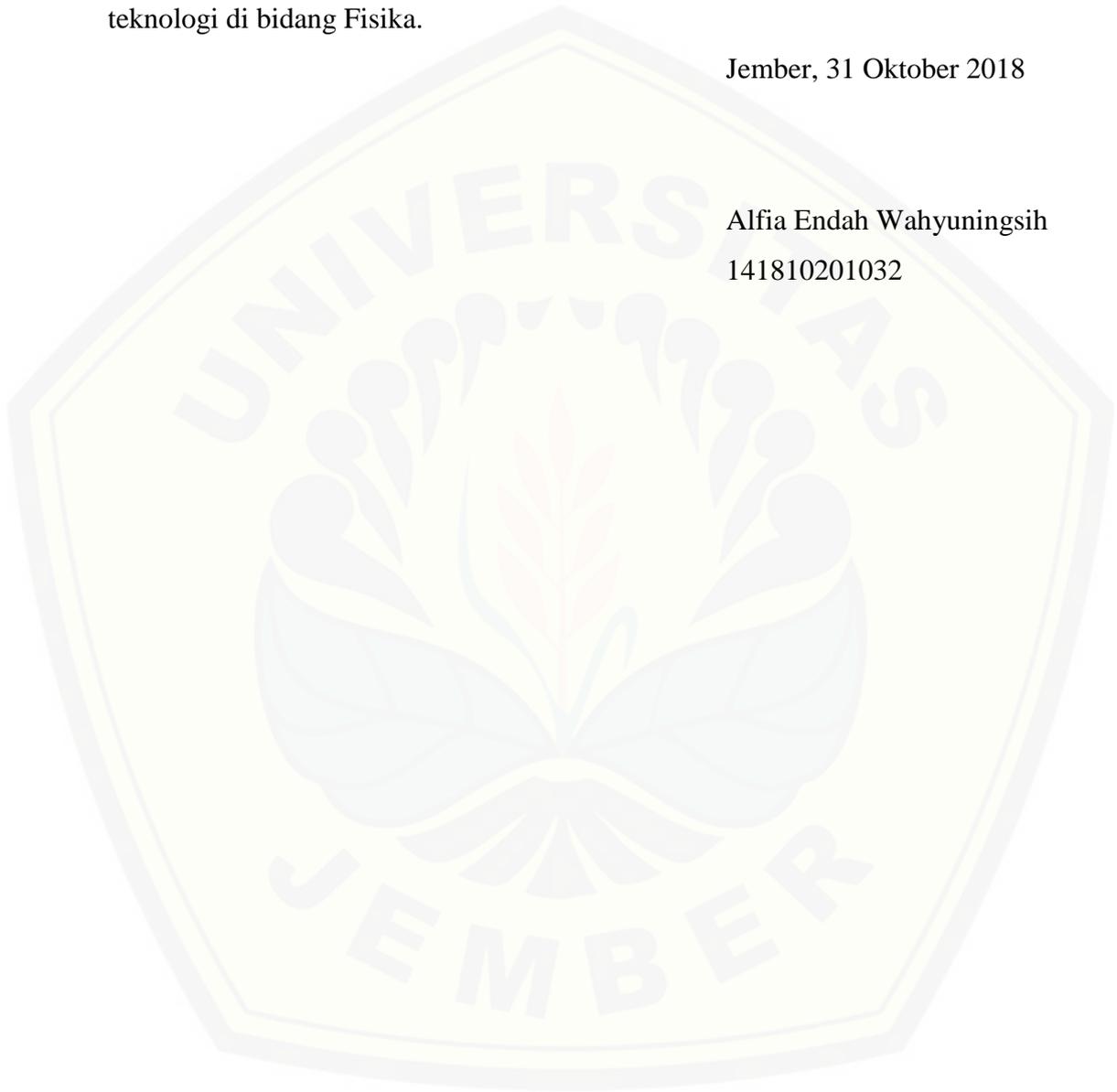
Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Wenny Maulina, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Nurul Priyantari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Segenap Dosen dan Karyawan Fakultas MIPA Universitas Jember yang selalu membantu dan mendukung;
4. Teman-teman tim fisika komputasi magnetik (Lutviana, Nazril Aiga, dan Khiptiatun Ni'mah) yang telah memberikan dukungan dan motivasi dalam menyelesaikan penelitian skripsi ini;
5. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 (Graphytasi 2014) dan UKM SPORA yang telah memberi pengalaman selama menjadi mahasiswa;
6. Keluarga *Kost* Halmahera II No.22 dan sahabat-sahabatku yang telah memberikan bantuan dan semangat;
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, 31 Oktober 2018

Alfia Endah Wahyuningsih  
141810201032



**DAFTAR ISI**

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBING</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	5
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
<b>2.1 Material Magnetik</b> .....	6
2.1.1 Paramagnetik .....	6
2.1.2 Diamagnetik .....	7
2.1.3 Feromagnetik .....	7
<b>2.2 Material Alloy Cobalt-Platinum (CoPt)</b> .....	8
<b>2.3 Sifat-Sifat Intrinsik Feromagnetik</b> .....	10
2.3.1 Temperatur Curie (T <sub>c</sub> ) .....	10
2.3.2 Kurva Histerisis .....	11
<b>2.4 Simulasi Mikromagnetik</b> .....	14
<b>2.5 Metode Monte Carlo</b> .....	15

2.6 Metode Heun.....	15
2.7 Domain Magnet .....	16
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Rancangan Penelitian .....	19
3.2 Jenis dan Sumber Data .....	20
3.3 Definisi Operasional Variabel .....	22
3.3.1 Variabel Bebas .....	22
3.3.2 Variabel Terikat .....	22
3.4 Kerangka Pemecah Masalah.....	23
3.4.1 Diagram Penelitian.....	23
3.4.2 Simulasi Mikromagnetik .....	25
3.5 Analisis Data .....	26
3.5.1 Analisis Data Simulasi untuk Menentukan Temperatur Curie Material Alloy $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ .....	26
3.5.2 Analisis Data Simulasi untuk Menentukan Kurva Histerisis Material Alloy $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ .....	28
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>30</b>
4.1 Analisis Temperatur Curie dari Material Alloy $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ .....	30
4.2 Analisis Karakteristik Kurva Histerisis dari Material Alloy $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ .....	37
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>48</b>
5.1 Kesimpulan .....	48
5.2 Saran .....	48
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>55</b>

DAFTAR TABEL

	Halaman
3.1 Jenis data yang digunakan dalam simulasi temperatur Curie .....	21
3.2 Jenis data yang digunakan dalam simulasi kurva histerisis .....	21
3.3 Sumber data untuk simulasi mikromagnetik .....	21
4.1 Nilai temperatur Curie material <i>alloy</i> $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ dengan variasi komposisi dan ukuran model <i>nanocube</i> .....	31
4.2 Hasil perhitungan keakurasian temperatur Curie pada material $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ .....	35
4.3 Nilai medan koersivitas ( $H_c$ ) material <i>alloy</i> $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ berbagai komposisi pada ukuran 5 nm .....	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Momen magnetik material paramagnetik (a) tanpa pengaruh medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) .....	7
2.2 Momen magnetik material diamagnetik (a) tanpa pengaruh medan magnet luar (H) dan (b) dengan adanya medan magnet luar (H) .....	7
2.3 Skema material feromagnetik ketika tanpa medan luar dan dengan medan luar .....	8
2.4 Struktur kristal HCP .....	9
2.5 Struktur kristal FCC.....	10
2.6 Grafik hubungan antara magnetisasi terhadap temperatur .....	11
2.7 (a) Kurva histerisis (b) Kurva histerisis <i>soft</i> magnetik (c) Kurva histerisis <i>hard</i> magnetik material feromagnetik .....	12
2.8 Kurva histerisis untuk material feromagnetik (a) hubungan magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H), dan (b) hubungan induksi magnet (B) terhadap medan magnet (H).....	13
2.9 Konfigurasi momen magnet dalam <i>domain wall</i> berubah secara perlahan-lahan membentuk struktur 180° dikenal dengan <i>Bloch wall</i> ...	17
2.10 Struktur <i>Neel wall</i> pada bidang <i>thin film</i> .....	17
3.1 Diagram simulasi penelitian dalam penentuan temperatur Curie.....	23
3.2 Diagram simulasi penelitian dalam penentuan kurva histerisis.....	24
3.3 Grafik temperatur Curie untuk material feromagnetik .....	27
3.4 Grafik suseptibilitas magnetik terhadap temperatur .....	27
3.5 Grafik penentuan temperatur Curie bahan $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ berdasarkan perubahan magnetisasi dan tingkat suseptibilitas magnetik .....	27
3.6 (a) Kurva histerisis $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$ dengan variasi suhu di bawah nilai $T_c$ dan (b) Kurva histerisis pada suhu di atas $T_c$ .....	29
4.1 Temperatur Curie material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ pada ukuran 5 nm.....	33
4.2 Temperatur Curie material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ pada ukuran 10 nm.....	33
4.3 Temperatur Curie material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ pada ukuran 15 nm.....	34

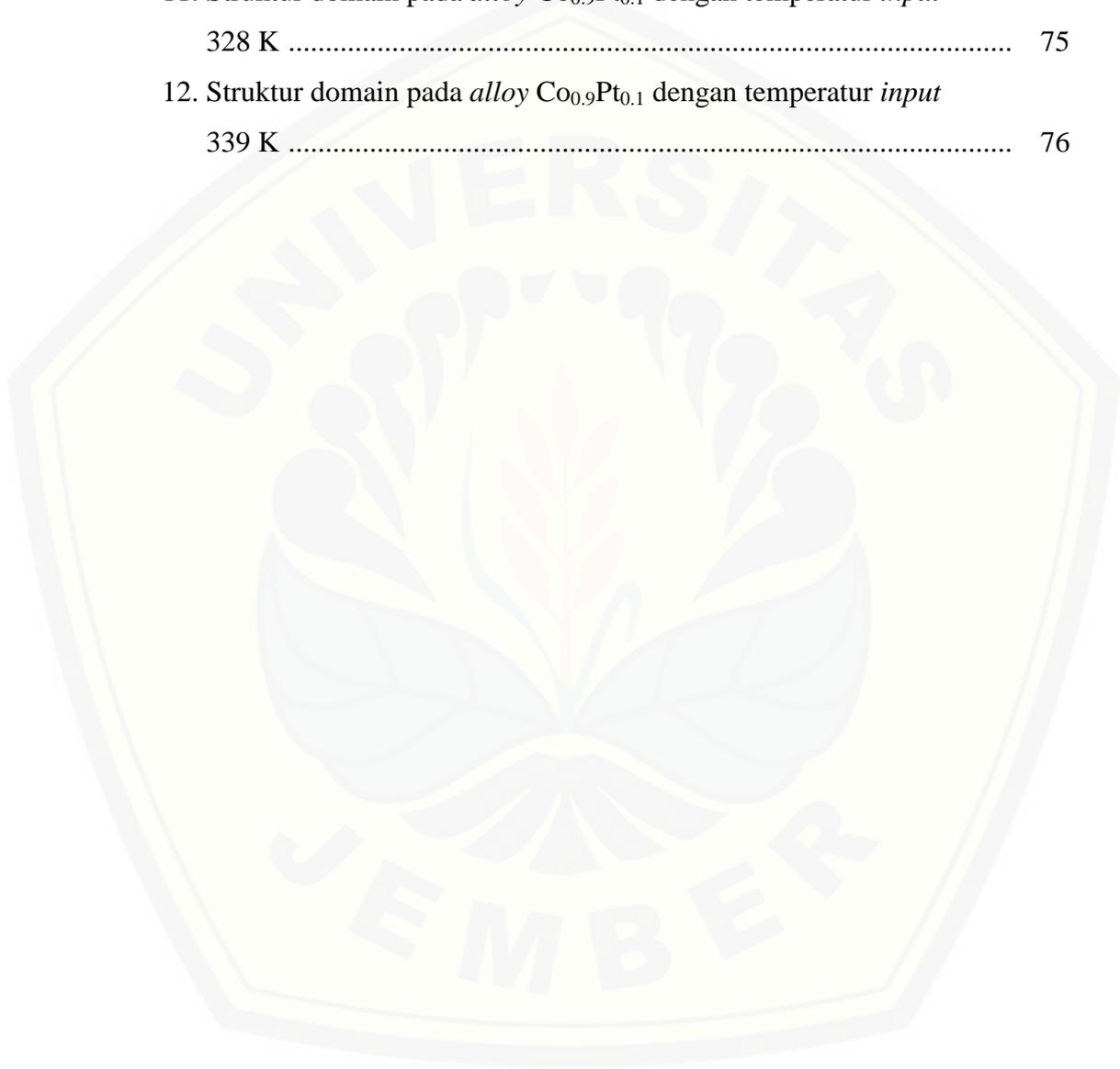
4.4	Temperatur Curie material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}$ pada ukuran 20 nm.....	34
4.5	(a) Grafik perubahan magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ pada ukuran 5 nm (b) Visualisasi proses perubahan arah spin pada material <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ pada ukuran 5 nm.....	36
4.6	Kurva histerisis dari bahan CoPt dengan variasi komposisi saat temperatur 0 K.....	38
4.7	Kurva histerisis $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ dengan (a) variasi temperatur dibawah nilai temperatur Curie, (b) temperatur diatas nilai temperatur Curie .....	39
4.8	Kurva histerisis $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ dengan (a) variasi temperatur dibawah nilai temperatur Curie, (b) temperatur diatas nilai temperatur Curie .....	39
4.9	Kurva histerisis $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ dengan (a) variasi temperatur dibawah nilai temperatur Curie, (b) temperatur diatas nilai temperatur Curie .....	39
4.10	Kurva histerisis $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ dengan (a) variasi temperatur dibawah nilai temperatur Curie, (b) temperatur diatas nilai temperatur Curie .....	40
4.11	Kurva histerisis $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ dengan (a) variasi temperatur dibawah nilai temperatur Curie, (b) temperatur diatas nilai temperatur Curie .....	40
4.12	Perubahan magnetisasi material $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ saat temperatur 0 K.....	43
4.13	Perubahan magnetisasi material $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ saat temperatur 328 K.....	44
4.14	Perubahan magnetisasi material $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ saat temperatur 339 K.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>4.1 Visualisasi Struktur Domain Berdasarkan Perubahan Temperatur pada Analisis Temperatur Curie</b> .....	55
1. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 5 nm .....	55
2. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 10 nm .....	55
3. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 15 nm .....	56
4. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 20 nm .....	56
5. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 5 nm .....	57
6. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 10 nm .....	57
7. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 15 nm .....	58
8. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 20 nm .....	58
9. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 5 nm .....	59
10. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 10 nm .....	59
11. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 15 nm .....	60
12. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 20 nm .....	60
13. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 5 nm .....	61

14. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 10 nm .....	61
15. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 15 nm .....	62
16. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 20 nm .....	62
17. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 10 nm .....	63
18. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 15 nm .....	63
19. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ model <i>nanocube</i> dengan ukuran 20 nm .....	64
<b>4.2 Visualisasi Struktur Domain pada Kurva Histerisis Berdasarkan Perubahan Temperatur dengan Variasi Komposisi pada Ukuran 5 nm .....</b>	<b>65</b>
1. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K.....	65
2. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ dengan temperatur <i>input</i> 328 K .....	66
3. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$ dengan temperatur <i>input</i> 339 K .....	67
4. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K .....	68
5. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ dengan temperatur <i>input</i> 328 K .....	69
6. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$ dengan temperatur <i>input</i> 339 K .....	70
7. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K .....	71
8. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ dengan temperatur <i>input</i> 328 K .....	72

9. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ dengan temperatur <i>input</i> 339 K .....	73
10. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K .....	74
11. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ dengan temperatur <i>input</i> 328 K .....	75
12. Struktur domain pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$ dengan temperatur <i>input</i> 339 K .....	76



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Material magnetik memiliki fenomena yang erat hubungannya dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya material magnetik banyak dimanfaatkan untuk membuat berbagai peralatan seperti generator listrik, motor listrik, radio, televisi, dan komputer (Ekreem, 2009). Material magnetik menjadi bagian penting dalam era sistem penyimpanan data digital. Sistem penyimpanan data di dalam material magnetik disebut dengan *magnetic storage* atau penyimpanan magnetik (Wibowo, 2011). Media penyimpanan yang dapat dikembangkan salah satunya adalah *hard disk drive* (HDD). HDD merupakan sebuah media perekam magnetik yang digunakan untuk menyimpan data pada komputer dalam jangka waktu yang lama. HDD pertama kali diciptakan pada tahun 1956 oleh IBM dengan nama RAMAC (*Random Access Method of Accounting and Control*) (Wahyudi, 2005). Sejauh ini HDD mengalami perkembangan dalam meningkatkan kapasitas HDD, yaitu dengan kemampuan akses semakin cepat, tetapi dengan ukuran yang semakin kecil (Muhammady *et al.*, 2012).

Upaya peningkatan kemampuan kapasitas HDD untuk menunjang spesifikasi dari sebuah komputer yaitu dengan cara meningkatkan kerapatan bit (*bit-areal-density*). Untuk meningkatkan kerapatan bit maka sama halnya dengan meningkatkan kapasitas data dari media perekam data tersebut. Semakin tinggi kerapatan data, maka ukuran material data akan semakin kecil. Masalah yang terjadi pada kerapatan bit dengan ukuran yang terlalu kecil adalah penyimpanan data menjadi tidak stabil karena efek superparamagnetik atau ketidakstabilan termal yang menyebabkan media penyimpanan rusak. Efek superparamagnetik adalah sifat yang muncul pada nanomaterial feromagnetik, sehingga konsekuensinya partikel tersebut akan sangat reaktif terhadap medan luar (Sulanjari *et al.*, 2014). Energi yang berasal dari proses HDD melakukan penyimpanan data merupakan energi panas yang menyebabkan efek superparamagnetik. Temperatur HDD ketika komputer hidup mencapai 30°C - 50°C, sedangkan ketika komputer bekerja atau memproses data maka

temperatur HDD mencapai 50°C - 58°C (Asrofi dan Purnama, 2013). Jika HDD bekerja terus menerus atau berkelanjutan maka akan mencapai temperatur maksimum yang disebut dengan temperatur *overheat*. Temperatur *overheat* HDD disebut juga dengan temperatur Curie dari material pembentuk HDD tersebut. Temperatur yang tinggi atau *overheat* dapat menyebabkan proses kinerja dari HDD menjadi lambat dan dapat membuat umur HDD lebih singkat. Temperatur *overheat* dari HDD sekitar 339 K atau 66°C (Sugiarto *et al.*, 2013). Oleh karena itu diperlukan produksi HDD yang kuat dan tahan terhadap panas agar memiliki karakteristik magnetik yang baik pada temperatur tinggi.

Pendekatan yang dapat diajukan dalam kasus tersebut yaitu dengan membuat media perekam magnetik berbentuk *patterned media*. Material magnetik dapat dipola dengan ukuran sangat kecil sehingga dapat meningkatkan kerapatan bit dari media perekam magnetik. Media perekam ini disusun oleh material feromagnetik berstruktur nanopartikel berupa *magnetic island*. Satu *magnetic island* tersusun dari 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* yang memiliki ukuran nano, untuk satu bit data hanya membutuhkan satu *magnetic island* kubus (*nanocubes*), silinder, heksagonal dan bentuk lainnya yang lebih kompleks (Alvarez, 2008).

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

Material *alloy* CoPt banyak diteliti karena material alloy CoPt mempunyai temperatur Curie yang tinggi, anisotropi dan tahan terhadap korosi yang tinggi. Material CoPt memiliki besar anisotropi yaitu  $6.7 \times 10^6 \text{ erg/cm}^3$  (Yu *et al.*, 2014).

Material feromagnetik *Cobalt* (Co) memiliki tekstur yang kuat dan memiliki nilai temperatur Curie sebesar 1388 K. Paduan antara CoPt merupakan material feromagnetik dan paramagnetik. Salah satu sifat kemagnetan yang baik dapat diamati temperatur Curie-nya. Temperatur Curie yang tinggi memiliki potensi yang besar untuk aplikasi teknologi (Rohman, 2013). Material CoPt selain memiliki anisotropi dan tahan terhadap korosi yang tinggi, maka material ini bisa dijadikan material pembuatan HDD masa depan dengan kapasitas penyimpanan yang besar pada ukuran nanometer (Sun *et al.*, 2004).

Penelitian tentang temperatur Curie material CoPt sebelumnya telah diteliti secara eksperimen oleh Qunfeng (2003) pada *alloy*  $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$  dengan ukuran 4,3 nm menghasilkan temperatur Curie 789 K, sedangkan Erkovan *et al.* (2014) pada *alloy*  $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$  menghasilkan temperatur Curie 970 K, kemudian pada penelitian Nazah (2017) dilakukan secara simulasi dengan ukuran 5 nm model *nanocube* pada *alloy*  $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ , *alloy*  $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ , dan *alloy*  $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$  masing-masing menghasilkan temperatur Curie 1050 K, 1180 K dan 1260 K. Menurut Nazah (2017) bahwa variasi komposisi mempengaruhi nilai dari temperatur Curie, semakin besar komposisi Co yang diberikan maka temperatur Curie yang dihasilkan semakin tinggi. Hal ini terjadi karena unsur Co merupakan material feromagnetik sedangkan unsur Pt merupakan material paramagnetik. Selain variasi komposisi, faktor lain yang memungkinkan mempengaruhi nilai temperatur Curie suatu material adalah ukuran dari material tersebut. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Qunfeng (2003), Erkovan *et al.* (2014) dan Nazah (2017), maka pada penelitian ini dilakukan dengan mengembangkan dari penelitian sebelumnya yaitu dengan memvariasikan ukuran sisi kubik pada masing-masing komposisi. Sifat dan karakteristik dari material-material magnetik erat kaitannya dengan suseptibilitas magnetik (*magnetic susceptibility*), koersivitas dan remanensi material. Koersivitas dan remanensi material dapat ditentukan melalui kurva histerisis (Istiyono, 2009). Penelitian tentang sifat magnetik dari nilai koersivitas yang diperoleh dari kurva histerisis pernah dilakukan secara eksperimen oleh sun *et al.* (2004) untuk material *alloy*  $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$  dengan variasi temperatur. Pada temperatur 300 K menghasilkan

koersivitas sebesar 12 kOe dan pada temperatur 10 K menghasilkan koersivitas sebesar 18 kOe. Seiring dengan bertambahnya temperatur maka nilai koersivitas yang diperoleh dari kurva histerisis akan semakin kecil. Namun pada penelitian tersebut masih belum mengamati tentang nilai koersivitas material pada variasi temperatur 0 K, temperatur diatas temperatur Curie dan variasi komposisi dari material.

Seiring dengan perkembangan teknologi, untuk mengetahui sifat dari suatu material tidak dapat hanya dilakukan dengan secara eksperimen, tetapi juga dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi. Pada penelitian ini menggunakan simulasi mikromagnetik salah satunya menggunakan *software Vampire*. *Vampire* merupakan sebuah *software* simulasi model atomistik yang dapat diprogram pada sistem operasi Windows. *Software* ini juga mampu menentukan sifat-sifat magnetik material, seperti temperatur Curie dan kurva histerisis. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan simulasi untuk mengetahui nilai temperatur Curie dan kurva histerisis pada variasi komposisi material  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  dengan nilai  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$  dan  $0.5$ . Pada penentuan temperatur Curie dilakukan variasi ukuran sisi kubik 5 nm, 10 nm, 15 nm, dan 20 nm. Sedangkan penentuan nilai koersivitas dari kurva histerisis dilakukan pada variasi temperatur yaitu 0 K, 328 K, 339 K, dan temperatur diatas nilai temperatur Curie untuk material  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ . Pemilihan temperatur 328 K didasarkan pada saat komputer bekerja atau ketika memproses data dan pemilihan temperatur 339 K didasarkan karena pada temperatur tersebut merupakan temperatur *overheat* HDD.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh komposisi dan ukuran dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  model *nanocube* yang dihasilkan melalui simulasi mikromagnetik terhadap temperatur Curie?
2. Bagaimana karakteristik magnetik material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  pada variasi komposisi dan variasi temperatur berdasarkan analisis kurva histerisis ?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh komposisi dan ukuran dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  model *nanocube* yang dihasilkan melalui simulasi mikromagnetik terhadap temperatur Curie.
2. Mengetahui karakteristik magnetik material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  pada variasi komposisi dan variasi temperatur berdasarkan analisis kurva histerisis.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian analisis temperatur Curie dan kurva histerisis material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  model *nanocube* dengan simulasi mikromagnetik yaitu dapat dijadikan acuan dalam penelitian sifat-sifat magnetik khususnya sifat temperatur Curie dan kurva histerisis material  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  dalam bidang ilmu fisika komputasi. Selain itu, mengetahui sifat magnetik terbaik pada material CoPt dengan komposisi tertentu, sehingga hasil tersebut bisa dijadikan acuan material dasar dalam pembuatan media perekam magnetik HDD secara eksperimen.

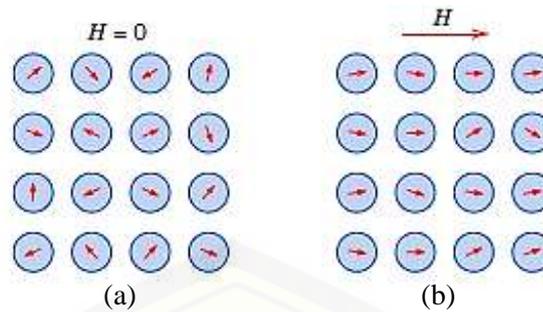
## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Material Magnetik

Material magnetik merupakan suatu material yang memiliki sifat magnetik. Sifat magnetik merupakan sebuah kemampuan suatu material untuk menarik atau menolak material lain yang berada di sekitarnya. Contoh dari material magnetik yaitu besi, baja, nikel, kobalt serta paduannya (Callister dan Rethwisch, 2009). Suatu material bersifat magnet jika momen magnet memiliki arah yang sama (tersusun teratur). Pada logam yang bukan magnet, momen magnetnya memiliki arah yang tidak teratur sehingga efeknya saling meniadakan yang mengakibatkan tidak adanya kutub-kutub magnet pada ujung logam. Setiap magnet memiliki dua kutub magnet, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Kutub magnet merupakan daerah yang berada pada ujung-ujung magnet dan memiliki kekuatan terbesar. Pada material magnetik memiliki sifat kemagnetan berdasarkan komponen pembentuknya. Berdasarkan nilai suseptibilitasnya material magnetik dibagi menjadi tiga kategori yaitu, material paramagnetik, diamagnetik, dan feromagnetik (Warsiti, 2005).

#### 2.1.1 Paramagnetik

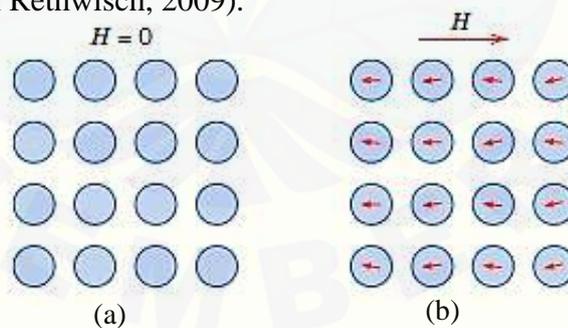
Material paramagnetik merupakan material yang mempunyai nilai suseptibilitas positif dan kecil (Warsiti, 2005). Suseptibilitas magnetik material paramagnetik akan mengalami penurunan ketika temperatur yang diterima oleh material semakin tinggi (Triyanto, 2004). Paramagnetisme terjadi pada atom-atom, ion dan molekul yang memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain dengan sangat lemah. Pada Gambar 2.1 material paramagnetik sebelum diberikan medan magnet dari luar, maka momen magnetik akan berorientasi secara acak. Namun, ketika medan magnet luar diterapkan, maka momen magnetik akan mensejajarkan diri searah dengan medan magnet luar tersebut (Halliday dan Resnick, 1978). Contoh material yang memiliki sifat paramagnetik adalah Al, Cr, Mo, Na, Ti, Pt dan Zr (Callister dan Rethwisch, 2009).



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

### 2.1.2 Diamagnetik

Material yang memiliki suseptibilitas yang negatif yang sangat kecil disebut dengan material diamagnetik (Puri dan Babbar, 2001). Diamagnetisme adalah sifat suatu benda untuk menciptakan medan magnet yang bersifat non permanen dan memiliki efek yang sangat lemah. Pada Gambar 2.2 ketika material diamagnetik diberi medan magnet luar, maka elektron-elektron dalam atom akan mengubah gerakannya, sehingga menghasilkan momen magnet orbital yang arahnya berlawanan dengan medan magnet luar tersebut (Halliday dan Resnick, 1978). Contoh material yang memiliki sifat diamagnetik adalah Au, Ag, Zn, Hg, dan Si (Callister dan Rethwisch, 2009).

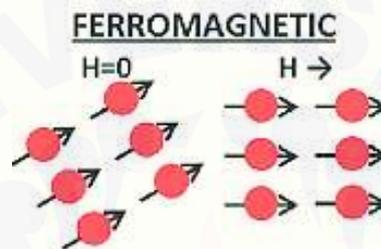


Gambar 2.2 Momen magnetik material diamagnetik (a) dengan tanpa medan magnet luar ( $H$ ) dan (b) dengan adanya medan magnet luar ( $H$ ) (Callister dan Rethwisch, 2009)

### 2.1.3 Feromagnetik

Material feromagnetik merupakan material yang memiliki nilai suseptibilitas magnet positif dan sangat tinggi. Pada Gambar 2.3 material feromagnetik

mula–mula memiliki magnetisasi nol pada daerah bebas medan magnetik, apabila mendapat pengaruh medan magnetik yang lemah saja akan memperoleh magnetisasi yang besar. Jika diperbesar medan magnetnya, akan semakin besar pula magnetisasinya (Istiyono, 2009). Material ini juga mempunyai sifat remanensi, artinya bahwa setelah medan magnet luar dihilangkan, akan tetap memiliki medan magnet, karena itu material ini sangat baik sebagai sumber magnet permanen. Contoh material ferromagnetik adalah besi, baja, kobalt serta paduannya (Callister dan Rethwisch, 2009).



Gambar 2.3 Skema material ferromagnetik ketika tanpa medan luar dan dengan medan luar (Lacovacci *et al.*, 2016)

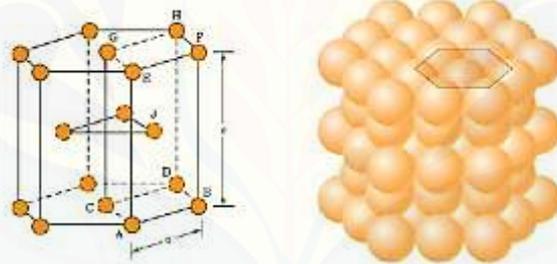
## 2.2 Material Alloy Cobalt-Platinum (CoPt)

*Cobalt* (Co) merupakan material ferromagnetik yang memiliki struktur kristal *Hexagonal Closed Packed* (HCP). Material ini memiliki tekstur kuat dengan nilai anisotropi sebesar  $6.69 \times 10^{-24}$  J/atom, temperatur Curie sebesar 1388 K, serta memiliki koersivitas yang tinggi (Ballela, 2008). *Platinum* (Pt) merupakan logam transisi yang termasuk material paramagnetik yang memiliki struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC).

Material *alloy* merupakan material paduan antara material yang memiliki unsur logam dengan logam. Salah satu lapisan magnetik yang sedang dikembangkan saat ini adalah lapisan tipis *alloy* CoPt. Material magnetik *alloy* CoPt merupakan campuran dari unsur Co dan Pt. *Alloy* CoPt merupakan suatu material magnetik yang diteliti dalam bentuk *bulk* atau bentuk film tipis karena memiliki nilai anisotropi sebesar  $1.11 \times 10^{-24}$  J/atom (Yu *et al.*, 2014), temperatur Curie yang tinggi sebesar 1260 K pada ukuran 5 nm model *nanocube* (Nazah, 2017), dan tahan terhadap korosi. Karena anisotropi yang dimiliki material CoPt tinggi maka koersivitas yang dihasilkan akan tinggi dan berpotensi diaplikasikan

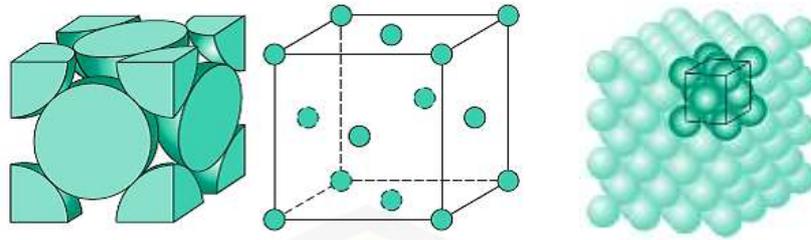
dalam media perekaman magnetik (Hosoiri *et al.*, 2003). Penelitian ini sebelumnya telah diteliti secara eksperimen pada *alloy*  $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$  dengan ukuran 4,3 nm menghasilkan temperatur Curie 789 K (Qunfeng 2003), pada *alloy*  $\text{Co}_{0.6}\text{Pt}_{0.4}$  menghasilkan temperatur Curie 970 K (Erkovan *et al.*, 2014), kemudian secara simulasi dengan ukuran 5 nm model *nanocube* pada *alloy*  $\text{Co}_{0.7}\text{Pt}_{0.3}$ , *alloy*  $\text{Co}_{0.8}\text{Pt}_{0.2}$ , dan *alloy*  $\text{Co}_{0.9}\text{Pt}_{0.1}$  masing-masing menghasilkan temperatur Curie 1050 K, 1180 K dan 1260 K (Nazah, 2017).

*Hexagonal Closed Packed* (HCP) merupakan struktur kristal dengan satu atom berada di setiap sudut, di tengah sisi atas dan bawah terdapat satu atom dan di tengah heksagonal terdapat tiga atom, sehingga jumlah atom dalam satu unit sel terdapat 6 atom. Bilangan koordinasi untuk struktur kristal HCP adalah 12. Contoh material yang memiliki struktur kristal HCP adalah Co, Mg, Zn, Ti, Zr, dan Te (Bahar, 2015). Struktur kristal HCP dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur kristal HCP (Callister dan Rethwisch, 2009)

*Face Centered Cubic* (FCC) merupakan struktur kristal yang memiliki satu atom berada di setiap sudut *unit cell* dan satu atom terdapat di setiap pertengahan sisi unit cell, sehingga jumlah atom dalam unit cell terdapat 4 atom. Struktur kristal masing-masing atomnya bersentuhan satu sama lain pada diagonal sisinya. Contoh material dari struktur FCC adalah Al, CA, Au, Ni, Ag, Sr, Kr, Pt (Bahar, 2015). Nomor koordinasinya yaitu jumlah atom yang bersentuhan adalah 12 (Callister dan Rethwisch, 2009). Struktur kristal FCC dapat dilihat pada Gambar 2.5.



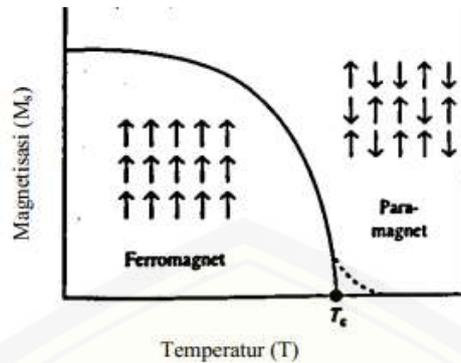
Gambar 2.5 Struktur kristal FCC (Callister dan Rethwisch, 2009)

### 2.3 Sifat-Sifat Intrinsik Feromagnetik

Sifat intrinsik yang dimiliki oleh material feromagnetik diantaranya seperti temperatur Curie dan kurva histeresis. Berikut ini merupakan sifat intrinsik material feromagnetik:

#### 2.3.1 Temperatur Curie ( $T_c$ )

Temperatur Curie merupakan suatu temperatur dimana suatu material feromagnetik akan mengalami perubahan menjadi material paramagnetik (Safari, 2008). Ketika nilai temperatur berada diatas temperatur Curie-nya maka material tersebut berubah menjadi paramagnetik (Okimustava dan Oktava, 2009). Temperatur Curie memisahkan fase feromagnetik dimana susunan momen magnetiknya teratur atau ketika berada di bawah temperatur Curie-nya dengan fase paramagnetik yang susunan momen magnetiknya tidak teratur atau ketika berada di atas temperatur Curie-nya seperti Gambar 2.6 (Sudjatmoko, 2005). Ketika temperatur material diatas dari temperatur Curie maka material tersebut akan mengalami magnetisasi yang rendah. Sehingga temperatur Curie juga menunjukkan kekuatan interaksi *exchange* antara spin-spin elektron atom. Material feromagnetik juga mengalami magnetisasi spontan yang bergantung dengan temperatur. Gambar 2.6 ketika magnetisasi maksimum dari material feromagnetik pada temperatur 0 K atau temperatur absolut. Sebaliknya nilai magnetisasi akan mengalami penurunan dengan adanya kenaikan temperatur. Nilai magnetisasi spontan akan menjadi nol pada saat temperaturnya sama dengan temperatur Curie-nya. Ketika suatu material melewati temperatur Curie-nya maka akan berubah dari material feromagnetik menjadi material paramagnetik (Irayanti, 2016).



Gambar 2.6 Grafik hubungan antara magnetisasi terhadap temperatur (Skomski, 2008)

Material-material feromagnetik seperti besi (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co) serta paduannya (*alloy*), spin atom-atomnya terpolarisasi secara spontan sehingga material ini telah bersifat magnetik meskipun tanpa adanya medan magnet luar. Keadaan ini terjadi hanya pada saat temperaturnya lebih rendah dari temperatur transisi. Di atas temperatur Curie karakteristik yang dimiliki yaitu spin-spinnya cenderung menjadi random yang mengakibatkan keadaannya berubah menjadi fase paramagnetik. Perubahan keadaan dari fase feromagnetik ke fase paramagnetik disebut fase transisi (Sudjatmoko, 2005).

Karakteristik magnetik suatu material dipengaruhi oleh temperatur. Ketika temperatur bertambah besar, terjadi peningkatan getaran termal dari atom-atomnya. Hal ini mengakibatkan momen-momen magnet yang telah searah akan berotasi menjadi acak. Akibatnya akan terjadi penurunan magnetisasi. Magnetisasi maksimum terjadi pada temperatur 0 K, dimana gerak termal minimum. Peningkatan temperatur mengakibatkan penurunan magnetisasi secara gradual hingga mencapai nol pada temperatur tertentu. Temperatur ini disebut dengan temperatur Curie. Suatu material ketika melebihi temperatur Curie-nya akan berubah dari material feromagnetik menjadi material paramagnetik (Callister dan Rethwisch, 2009).

### 2.3.2 Kurva Histeresis

Histeresis adalah suatu sifat yang dimiliki oleh sistem dimana sistem tidak secara cepat mengikuti gaya yang diberikan kepadanya, tetapi memberikan reaksi

secara perlahan, atau bahkan sistem tidak kembali lagi ke keadaan awalnya (Yani *et al.*, 2014). Kurva histerisis merupakan karakterisasi material magnet yang menggambarkan material dapat dimagnetisasi atau didemagnetisasi (Nursiyanto *et al.*, 2015). Kurva histerisis merepresentasikan magnetisasi dan demagnetisasi oleh suatu medan luar. Kurva histerisis dapat diperoleh dengan memetakan magnetisasi material  $M$  untuk kuat medan magnet eksternal  $H$  yang berbeda-beda. Cara yang paling umum untuk menyatakan magnetisasi *bulk* dari material feromagnetik adalah dengan memetakan induksi magnetik  $B$  untuk kuat medan magnet eksternal,  $H$  yang berbeda-beda (Widodo, 2013). Hubungan antara medan magnet luar, induksi magnet, dan magnetisasi dari suatu kurva histerisis material feromagnetik dapat dipresentasikan ke dalam persamaan (2.1)

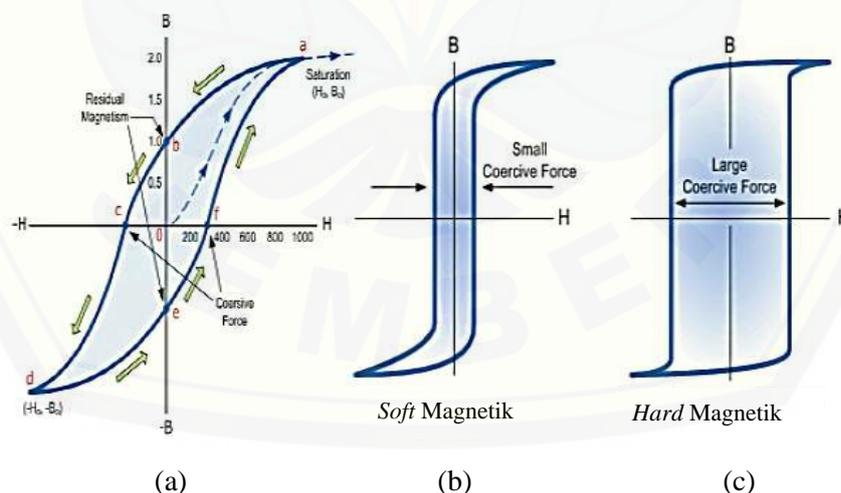
$$B = \mu_0(H + M) \quad (2.1)$$

dimana  $B$  adalah induksi magnet,  $H$  medan magnet yang diberikan,  $M$  magnetisasi, dan  $\mu_0$  permeabilitas ruang hampa. Diketahui bahwa:

$$J = \mu_0 M \quad (2.2)$$

dimana  $J$  merupakan polarisasi, maka persamaan (2.2) menjadi:

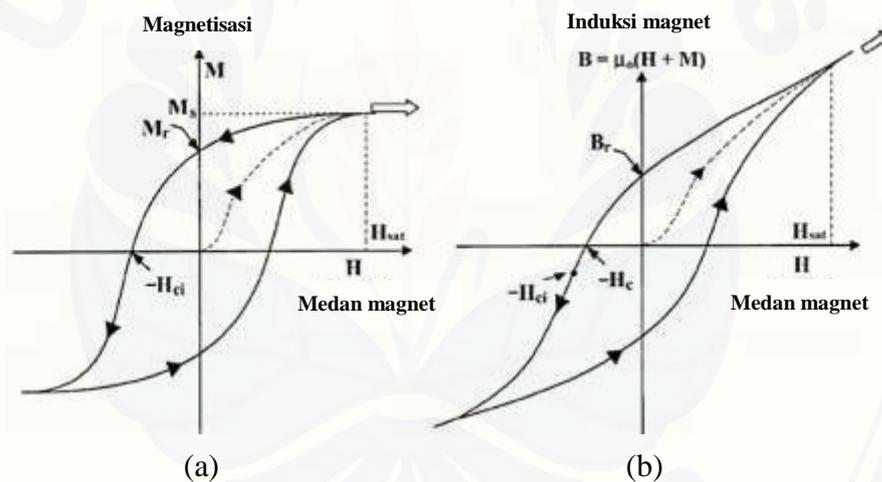
$$B = \mu_0 H + J \quad (2.3)$$



Gambar 2.7 (a) Kurva histerisis (b) Kurva histerisis *soft* magnetik (c) Kurva histerisis *hard* magnetik material feromagnetik (Nursiyanto *et al.*, 2015)

Kurva histerisis pada umumnya dibedakan menjadi dua yaitu kurva histerisis *soft* magnet dan *hard* magnet. Gambar 2.7 menunjukkan bahwa berdasarkan

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



Gambar 2.8 Kurva histerisis untuk material feromagnetik (a) hubungan magnetisasi ( $M$ ) terhadap medan magnet ( $H$ ), dan (b) hubungan induksi magnet ( $B$ ) terhadap medan magnet ( $H$ ) (Widodo, 2013)

Kurva histerisis pada Gambar 2.8 menunjukkan bahwa pada material feromagnetik yang mulanya belum termagnetisasi ketika sebuah medan magnet  $H$  diberikan pada material tersebut akan menyebabkan magnetisasi meningkat sebanding dengan medan magnet  $H$ . Akibat pergerakan dari domain magnet menyebabkan bertambahnya nilai magnetisasi  $M$ . Jika medan magnet  $H$  yang diberikan meningkat terus-menerus maka magnetisasi akan mencapai keadaan jenuh atau saturasi. Besarnya nilai magnetisasi dalam keadaan saturasi disebut

dengan magnetisasi saturasi  $M_s$ . Sedangkan besar medan yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan saturasi disebut dengan medan saturasi  $H_{sat}$ . Pada keadaan ini seluruh momen magnet membentuk domain tunggal yang terorientasi searah dengan medan magnet  $H$  yang diberikan (Widodo, 2013).

#### 2.4 Simulasi Mikromagnetik

Semakin pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, kecepatan pemrosesan data oleh komputer dapat melibatkan simulasi mikromagnetik yang digunakan untuk mendukung dari hasil secara eksperimen. Simulasi mikromagnetik merupakan suatu kegiatan mensimulasikan sifat-sifat material magnetik khususnya pada material feromagnetik yang memiliki skala mikro untuk mencapai skala nanometer. Material magnetik banyak diaplikasikan sebagai alat penyimpan data (HDD, FD, RAM) berupa lapisan tipis pada plat disk dengan *lithographi* tertentu berukuran nanometer. Mempelajari secara simulasi sangat penting untuk mendukung eksperimen pembuatan lapisan tipis material feromagnetik untuk aplikasi perekam data. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi mikromagnetik adalah *Vampire*. *Vampire* merupakan salah satu aplikasi simulasi model atomistik untuk material magnetik berukuran nanometer (Evans dan Biternas, 2014). *Software Vampire* merupakan simulator atomistik material magnetik yang tersedia secara *open source*. *Software Vampire* ini digunakan untuk mensimulasikan temperatur Curie dan kurva histerisis yang nantinya akan dianalisis untuk mengetahui karakteristik dari material magnetik tersebut. *Vampire* membutuhkan dua *file* sebagai *input* yaitu *file input* sebagai *file* yang menegaskan tentang properti dari sistem simulasi seperti ukuran atau bentuk dari partikel dan *file material* sebagai *file* yang menegaskan tentang parameter dari semua material yang digunakan dalam simulasi (Evans dan Biternas, 2014).

## 2.5 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo merupakan metode yang memanfaatkan bilangan acak untuk melakukan simulasi suatu sistem fisika yang dilakukan oleh komputasi yang sulit diselesaikan secara analitik. Pada metode ini terdiri dari algoritma-algoritma yang dapat digunakan untuk memvisualisasi magnetisasi pada suatu material (Newmann, 1999). Algoritma Metropolis Monte Carlo adalah cara yang baik untuk mempelajari energi sistem fisik dalam kondisi *equilibrium*. Sifat-sifat *equilibrium* pada material magnetik seperti magnetisasi dipengaruhi oleh temperatur. Metode Monte Carlo dapat digunakan untuk mensimulasikan efek temperatur dimana dinamika tidak dibutuhkan pada *equilibrium* dan implementasinya relatif mudah. Dalam metode ini, suatu spin  $i$  yang memiliki arah  $S_i$  mengganti arahnya secara acak pada arah baru  $S_i'$  yang disebut dengan *trial move*. Perubahan energi dari arah awal ke arah *trial move* dinyatakan dalam persamaan (2.4)

$$\Delta E = E(S_i') - E(S_i) \quad (2.4)$$

Probabilitas dari *trial move* dinyatakan dalam persamaan (2.5)

$$P = \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_b T}\right) \quad (2.5)$$

dalam *range* 0 sampai 1 (Evans *et al.*, 2013).

## 2.6 Metode Heun

Metode Heun merupakan modifikasi dari metode Euler. Pada metode ini, solusi dari metode Euler dijadikan sebagai solusi perkiraan awal yang difungsikan sebagai *predictor*. Selanjutnya solusi perkiraan awal ini diperbaiki dengan menggunakan metode Heun yang difungsikan sebagai *corrector* (Oktaviani *et al.*, 2014). Penentuan arah spin  $S_i'$  dan medan efektif  $H'_{eff}$  dari arah spin  $S_i$  dan  $\Delta t$  sebagai perubahan waktu dalam metode Heun mengacu pada metode Euler dengan menggunakan persamaan (2.6)

$$S'_i = S_i + \Delta S \Delta t \quad (2.6)$$

Persamaan (2.6) sebagai *predictor* dalam penentuan posisi arah spin. Dimana,

$$\Delta S = -\frac{\gamma}{(1 + \lambda^2)} [S'_i \times H'_{eff} + \lambda S_i \times (S_i \times H'_{eff})] \quad (2.7)$$

Untuk menentukan posisi spin dari posisi spin yang diprediksi dengan perubahan medan efektif  $H'^{i}_{eff}$  yang dalam hal ini disebut dengan *corrector*, menggunakan persamaan (2.8)

$$S_i^{t+\Delta t} = S_i + \frac{1}{2} [\Delta S + \Delta S'] \Delta t \quad (2.8)$$

dengan,

$$\Delta S' = -\frac{\gamma}{(1 + \lambda^2)} [S'_i \times H'^{i}_{eff} + \lambda S'_i \times (S_i \times H'^{i}_{eff})] \quad (2.9)$$

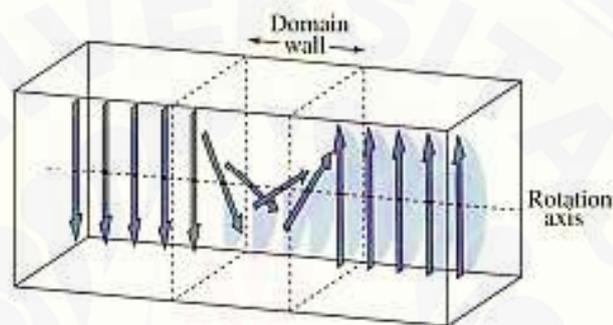
Dimana  $\gamma$  adalah *gyromagnetic ratio*,  $\lambda$  adalah *microscopic damping* dan  $H^i_{eff}$  adalah total medan magnet. Dengan demikian *predictor* dari integrasi tersebut ditunjukkan pada setiap spin sebelum proses evaluasi dari *corrector* untuk setiap spin dengan pengulangan beberapa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

## 2.7 Domain Magnet

Medan magnet dari masing-masing atom dalam material feromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi antara atom-atom tetangganya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membentuk kelompok-kelompok. Kelompok yang mensejajarkan dirinya dalam suatu daerah dinamakan domain magnetik. Domain magnetik adalah daerah-daerah kecil pembentuk magnet. Domain juga dapat dikatakan sebagai wilayah yang tersusun atas banyak momen magnetik yang memiliki arah yang sama (Wibowo, 2011). Domain magnet terbentuk untuk mengurangi energi sistem yang terpisah dengan yang lain oleh domain atau *bloch wall*, yaitu suatu area dengan energi sistem yang tinggi karena memiliki arah medan yang berlawanan. Kehadiran domain *wall* dan pergerakannya bertanggung jawab pada kurva histerisis B - H (Rohman, 2013). Domain-domain yang berada pada magnetik kristal terorientasi dalam arah acak hingga mengalami magnetisasi dalam medan eksternal. Jika material

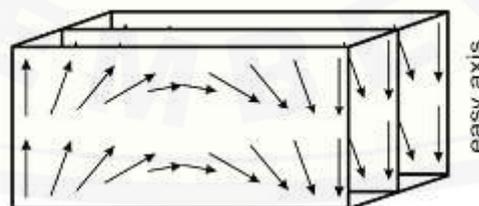
feromagnetik diberikan sebuah medan eksternal maka domain-domain akan terorientasi. Jika magnetisasi domain tetap, meskipun medan eksternalnya telah dihilangkan maka material tersebut merupakan magnet permanen (Ismail, 2013).

Tahun 1927, Felix Bloch menyampaikan konsep magnetik *domain wall* yaitu daerah transisi yang membatasi antara domain magnet dalam material feromagnetik. Bloch mengamati konfigurasi spin dalam *domain wall* berubah secara perlahan-lahan pada bidang kristal dan dikenal sebagai *Bloch wall*. Seperti diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Konfigurasi momen magnet dalam *domain wall* berubah secara perlahan-lahan membentuk struktur  $180^\circ$  dikenal dengan *Bloch wall* (Widodo, 2013)

*Bloch wall* umumnya ditemukan pada material feromagnetik berbentuk *bulk*, dimana spin berotasi pada bidang yang sejajar dengan *domain wall*. Untuk material feromagnetik bentuk lapisan tipis (*thin film*) dikenal dengan *Neel wall* dengan orientasi spin sepanjang bidang *thin film*. *Neel wall* diilustrasikan pada Gambar 2.10



Gambar 2.10 Struktur *Neel wall* pada bidang *thin film* (Widodo, 2013)

Pembentukan *domain wall* magnet pada material feromagnetik merupakan kompetisi antara energi *exchange* dan energi anisotropi. Energi *exchange* berasal dari interaksi antara spin atom dengan tetangganya. Energi *exchange* cenderung untuk mempertebal *domain wall*. Namun karena transisi arah spin menyebabkan

efek anisotropi meningkat yang cenderung untuk membuat tipis *domain wall*. Pada kondisi kesetimbangan, energi dan lebar *domain wall* dapat ditentukan dari energi *exchange* dan energi anisotropi (Mardona, 2012).



## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah satu set perangkat komputer yang terdiri atas layar monitor, CPU, keyboard dan mouse dengan spesifikasi sebagai berikut:

Prosesor	: Intel (R) Core (TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz 3.60GHz
Sistem tipe	: 64 bit
RAM	: 4.00 GB (3.90 GB usable)
Sistem Operasi	: windows 10

Program aplikasi yang digunakan pada simulasi adalah:

1. *Vampire*, digunakan untuk simulasi mikromagnetik berbasis *atomistic model*.
2. *Cygwin*, digunakan untuk mengkonversi bentuk *file cfg* menjadi *file povray*.
3. *Origin Pro*, digunakan untuk membuat grafik dari pengolahan data simulasi sebagai pembentuk grafik dengan memplot nilai hasil *running* yang berupa data *output*.
4. *Povray*, digunakan untuk membuat visualisasi struktur domain dalam tiga dimensi.
5. *Notepad++*, berfungsi sebagai program penyusunan *script* dan pengeditan hasil data.

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan mengidentifikasi tentang permasalahan yang terkait dengan kapasitas media penyimpanan magnetik. Tahap selanjutnya melakukan kajian pustaka dengan mengumpulkan sumber-sumber data yang berupa buku jurnal, skripsi, tesis dan internet guna memperoleh parameter *input* material yang akan disimulasikan. Selain itu juga dilakukan operasionalisasi pada variabel-variabel yang digunakan untuk mengetahui sifat-sifat magnetik material tersebut. Hal tersebut dilakukan untuk menunjang program simulasi mikromagnetik. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material magnetik *alloy CoPt*. Setelah proses simulasi

selesai, akan didapatkan hasil yang berupa angka-angka dan kemudian hasil tersebut akan dianalisis. Hasil analisis tersebut akan menghasilkan kesimpulan dari penelitian tersebut yang sudah dirumuskan dalam rumusan masalah. Proses rancangan penelitian tersebut akan menjadi sebuah karya tulis yang menjadi tugas akhir peneliti dalam menyelesaikan studi S1.

Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat magnetik material *alloy* CoPt. Sifat magnetik yang diteliti yaitu temperatur Curie dan kurva histerisis dari material *alloy* CoPt. Penelitian material *alloy* CoPt menggunakan bentuk geometri *nanocube* melalui simulasi mikromagnetik menggunakan *Vampire*. Penelitian temperatur Curie dilakukan dengan memvariasikan komposisi dari  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  dengan  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \text{ dan } 0.5$ . Ukuran sisi kubik yang digunakan pada penentuan temperatur Curie adalah 5 nm, 10 nm, 15 nm, dan 20 nm dengan tujuan membandingkan adanya pengaruh variasi ukuran terhadap temperatur Curie yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh berupa magnetisasi dan suseptibilitas magnetik yang digunakan untuk menentukan temperatur Curie material. Pada penentuan medan koersivitas melalui analisis kurva histerisis, dilakukan pada ukuran 5 nm dengan variasi komposisi. Variasi komposisi  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  yaitu dengan  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \text{ dan } 0.5$  dilakukan untuk mengetahui adanya pengaruh komposisi terhadap kurva histerisis pada ukuran 5 nm. Variasi temperatur dilakukan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap medan koersivitas yang diperoleh dari kurva histerisis pada ukuran 5 nm. Temperatur yang diberikan yaitu 0 K, 328 K, 339 K, dan temperatur diatas nilai temperatur Curie dari material *alloy* CoPt.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian yaitu jenis data kuantitatif. Jenis data tersebut merupakan jenis data yang dapat diukur dan dihitung secara langsung kemudian dapat dinyatakan dalam bentuk angka-angka. Jenis data dibuat dan ditentukan berdasarkan kebutuhan simulasi.

Tabel 3.1 Jenis data yang digunakan dalam simulasi temperatur Curie

Atribut simulasi	Ukuran dan variasi	Satuan
Ukuran partikel	5, 10, 15, dan 20	nm
Temperatur minimum-temperatur maksimum	0 – 1500	K
Komposisi material (x)	0.1, 0.2, 0.3, 0.4 dan 0.5	-

Tabel 3.2 Jenis data yang digunakan dalam simulasi kurva histerisis

Atribut simulasi	Ukuran dan variasi	Satuan
Ukuran partikel	5	nm
Temperatur	0 , 328 , 339 , dan temperatur diatas nilai temperatur Curie dari material CoPt	K
Komposisi material (x)	0.1, 0.2, 0.3, 0.4 dan 0.5	-

Adapun sumber data merupakan subjek dimana data dapat diperoleh. Sumber data yang digunakan adalah data sekunder, yang berupa parameter-parameter *input* yang digunakan pada *script* simulasi. Sumber data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 3.3 Sumber data untuk simulasi mikromagnetik

	Material Cobalt (Co)	Material Platinum (Pt)	Material CoPt	Satuan
Energi <i>Exchange</i>	<sup>[2]</sup> $6.06 \times 10^{-21}$	<sup>[1]</sup> $1.602 \times 10^{-23}$	<sup>[3]</sup> $3.69 \times 10^{-21}$	J/link
Atom spin momen	<sup>[2]</sup> 1.72	<sup>[3]</sup> 0.350	-	$\mu\text{B}/\text{atom}$
Energi Anisotropi	<sup>[2]</sup> $6.69 \times 10^{-24}$	-	<sup>[4]</sup> $1.11 \times 10^{-24}$	J/atom
Unit sel	-	-	<sup>[5]</sup> 3.803	Å

Sumber: <sup>[1]</sup>Bazerra-Neto *et al.* (2013), <sup>[2]</sup>Evans *et al.* (2013), <sup>[3]</sup>Weller *et al.* (2013),

<sup>[4]</sup>Yu *et al.* (2014) dan <sup>[5]</sup>Budhani dan Rakshit (2008).

### 3.3 Definisi Operasional Variabel

Variabel merupakan faktor-faktor yang berpengaruh dalam penelitian dan nilainya dapat berubah atau diubah. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variabel bebas dan variabel terikat.

#### 3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. Komposisi material merupakan nilai ( $x$ ) yang akan diinputkan pada material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ . Variasi komposisi material ( $x$ ) yang digunakan yaitu 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, dan 0.5.
- b. Variasi ukuran pada penentuan temperatur Curie 5 nm, 10 nm, 15 nm, dan 20 nm.
- c. Variasi temperatur untuk kurva histerisis 0 K, 328 K, 339 K, dan temperatur diatas nilai temperatur Curie dari material *alloy* CoPt.

#### 3.3.2 Variabel Terikat

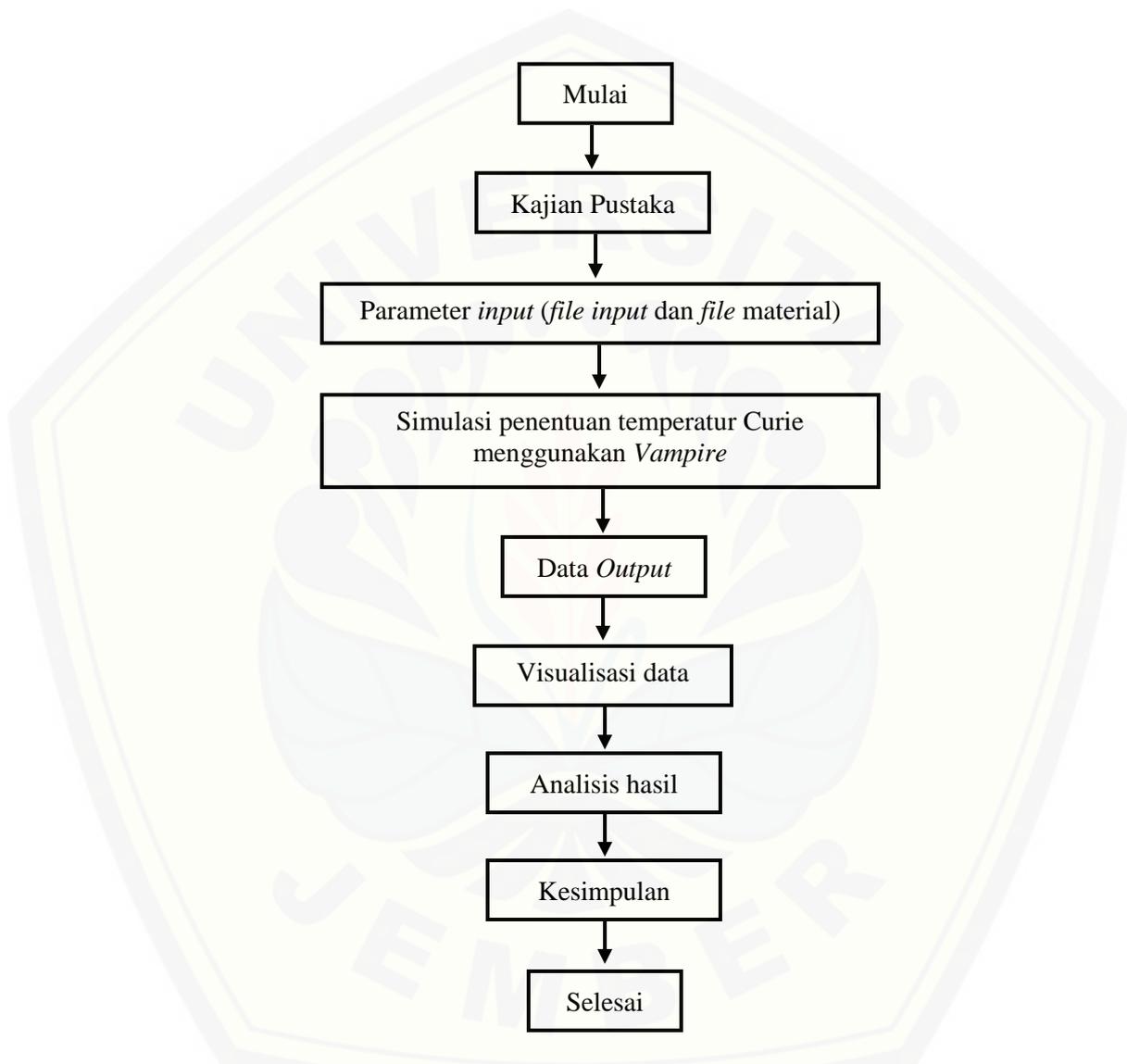
Variabel terikat merupakan variabel yang mengalami perubahan akibat dari variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

- a. Suseptibilitas ( $\chi$ ), merupakan tingkat kemagnetan suatu benda untuk termagnetisasi.
- b. Temperatur Curie ( $T_c$ ), merupakan suatu temperatur dimana suatu material feromagnetik akan mengalami perubahan menjadi material paramagnetik.
- c. Medan koersivitas, merupakan medan yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi remanen bernilai nol.
- d. Kurva histerisis, suatu sifat yang dimiliki oleh sistem dimana sistem tidak secara cepat mengikuti gaya yang diberikan kepadanya, tetapi memberikan reaksi secara perlahan, atau bahkan sistem tidak kembali lagi ke keadaan awalnya.

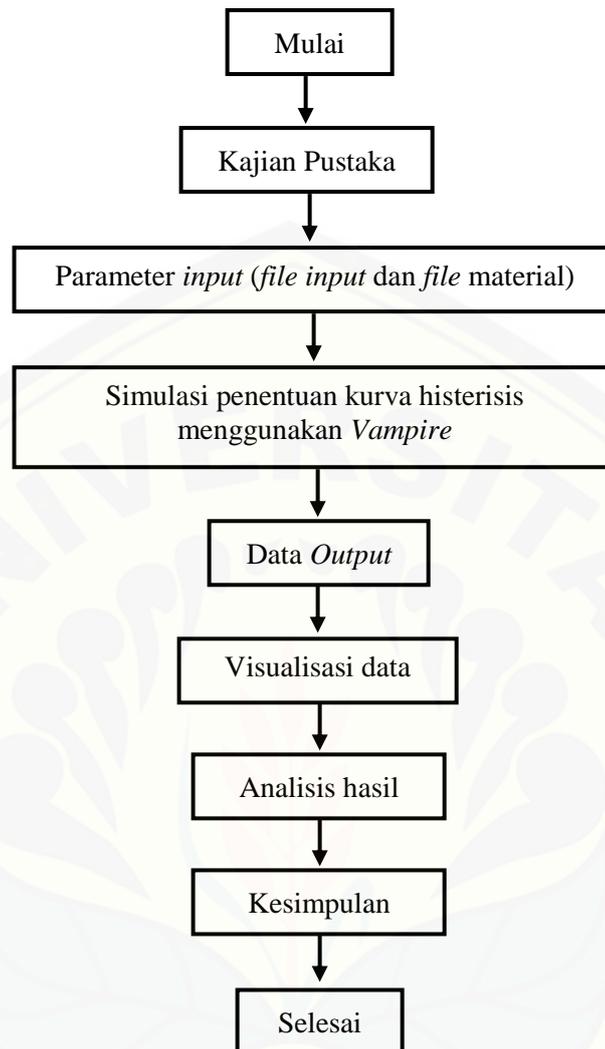
### 3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

#### 3.4.1 Diagram Penelitian

Penelitian yang dilakukan secara umum digambarkan dalam diagram penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2



Gambar 3.1 Diagram simulasi penelitian dalam penentuan temperatur Curie



Gambar 3.2 Diagram simulasi penelitian dalam penentuan kurva histerisis

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian pustaka untuk mencari parameter data material *alloy* CoPt sebagai *input* data untuk simulasi mikromagnetik. Selanjutnya *file script input* dan *file script* material diletakkan dalam satu folder pada program *Vampire*. Kemudian data *output* hasil simulasi dianalisis dengan menggunakan plot grafik dan visualisasi gambar spin domain untuk penentuan temperatur Curie dan kurva histerisis. Setelah itu dapat ditarik kesimpulan dalam menentukan komposisi dan ukuran material yang dapat dijadikan dasar pembuatan HDD seefisien mungkin.

### 3.4.2 Simulasi Mikromagnetik

Simulasi mikromagnetik pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

a. Simulasi untuk penentuan temperatur Curie dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$

Simulasi untuk penentuan temperatur Curie material dilakukan dengan membuat *file script input* dan *file script material*. *File script input* yang diantaranya berisi struktur material, unit sel, dan ukuran material, temperatur minimum dan temperatur maksimum serta data *output*. Data *output* berisi data yang telah dihasilkan, diantaranya: temperatur, magnetisasi dan suseptibilitas. *File script material* berisi konstanta *exchange*, konstanta anisotropi, momen spin atom, dan faktor redaman dan fraksi *alloy* (komposisi material). Setelah *file script input* dan *file script material* selesai dibuat, kemudian diletakkan dalam satu folder. Setelah itu simulasi mikromagnetik dijalankan dengan menggunakan program *Vampire*. Kemudian *output* simulasi seperti magnetisasi dan suseptibilitas magnetik menggunakan program *Origin*, untuk membuat plotting grafik hubungan antara magnetisasi dengan temperatur seperti pada Gambar 3.3 dan hubungan antara suseptibilitas dengan temperatur seperti Gambar 3.4. Simulasi mikromagnetik pada material *alloy*  $\text{CoPt}$  dilakukan dengan variasi ukuran material 5 nm, 10 nm, 15 nm, dan 20 nm untuk masing-masing komposisi  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  dengan  $x = 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \text{ dan } 0.5$ . Dalam melakukan visualisasi arah spin domain dilakukan dengan menggunakan *software Povray* dengan merubah terlebih dahulu *file output* yang dihasilkan dari proses *running* dalam bentuk *file cfg* menjadi *file povray* menggunakan *cygwin*.

b. Simulasi untuk pembuatan kurva histerisis material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$

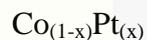
Simulasi untuk pembuatan kurva histerisis ini sama seperti simulasi pada penentuan temperatur Curie, yaitu dengan membuat *file script input* dan *file script material* terlebih dahulu kemudian diletakkan dalam satu folder. Setelah *file script input* dan *file script material* selesai dibuat, kemudian diletakkan dalam satu folder. Setelah itu simulasi mikromagnetik dijalankan dengan menggunakan program *Vampire* dengan memberikan variasi temperatur pada material *alloy*

$\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ . Variasi temperatur yang digunakan 0 K, 328 K, 339 K, dan temperatur di atas nilai temperatur Curie dari material *alloy* CoPt. Simulasi untuk pembuatan kurva histerisis dilakukan pada ukuran 5 nm untuk masing-masing komposisi dalam model *nanocube*. Kemudian hasil data *output* di *ploting* menggunakan program *Origin* yang menampilkan hubungan antara magnetisasi ternormalisasi terhadap medan eksternal. Dalam melakukan visualisasi arah spin domain dilakukan dengan menggunakan *software* *Povray* dengan merubah terlebih dahulu *file output* yang dihasilkan dari proses *running* dalam bentuk *file .cfg* menjadi *file .povray* menggunakan *cygwin*.

### 3.5 Analisis Data

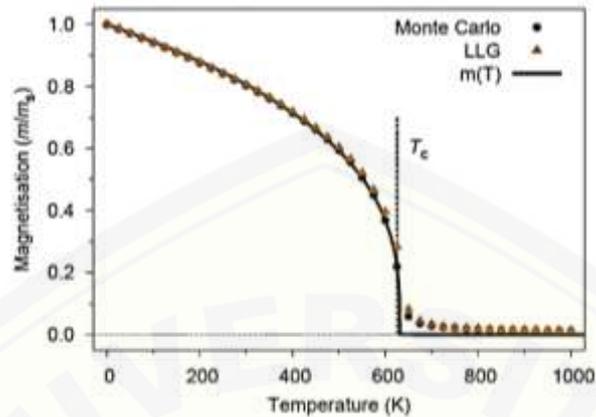
Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis hasil simulasi adalah sebagai berikut:

#### 3.5.1 Analisis Data Simulasi untuk Menentukan Temperatur Curie Material Alloy

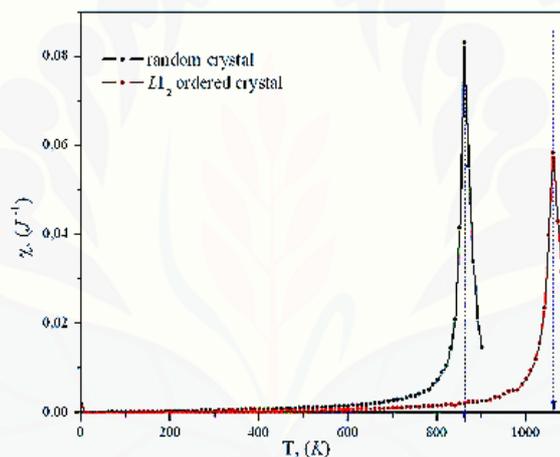


Hasil simulasi untuk menentukan temperatur Curie material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  dilakukan pada program *Vampire* yang berupa hasil dari data *output*. Data *output* tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan program *Origin*. Program *Origin* digunakan untuk membuat grafik-grafik dari pengolahan data simulasi. Pada penentuan temperatur Curie dianalisis dengan membuat grafik antara magnetisasi terhadap perubahan temperatur seperti pada Gambar 3.3. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan magnetisasi terhadap bertambahnya temperatur berdasarkan variasi komposisi dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ . Selain itu terdapat konsep lain untuk menentukan temperatur Curie, yaitu dengan membuat grafik hubungan antara suseptibilitas terhadap perubahan temperatur seperti pada Gambar 3.4. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bahwa temperatur Curie suatu material dapat dilihat dari suseptibilitas magnetik tertinggi yang dihasilkan, karena tingkat titik suseptibilitas tertinggi berada pada titik magnetisasi mendekati nol seperti pada Gambar 3.5. Analisis dilakukan untuk semua variasi komposisi material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ , sehingga dapat dianalisis temperatur Curie yang

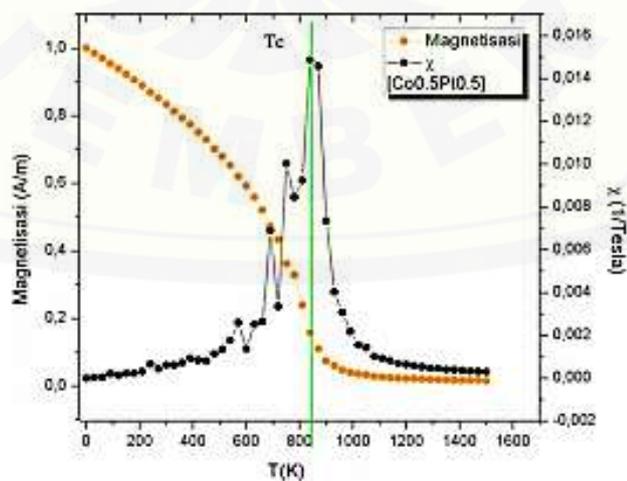
dihasilkan dari pengaruh komposisi dan variasi ukuran sisi kubik pada bentuk *nanocube*.



Gambar 3.3 Grafik temperatur Curie untuk material feromagnetik (Evans *et al.*, 2013)



Gambar 3.4 Grafik suseptibilitas magnetik terhadap temperatur (Vernyhora, 2009)



Gambar 3.5 Grafik penentuan temperatur Curie material  $\text{Co}_{0.5}\text{Pt}_{0.5}$  berdasarkan perubahan magnetisasi dan tingkat suseptibilitas magnetik (Nazah, 2017)

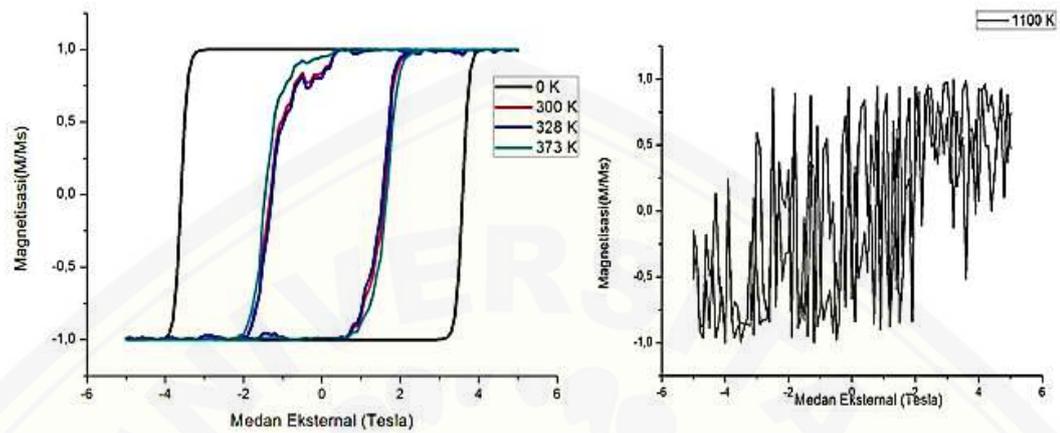
Penelitian penentuan temperatur Curie ini mengacu pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya secara eksperimen oleh Qunfeng (2003) pada *alloy* Co<sub>0.5</sub>Pt<sub>0.5</sub> menghasilkan temperatur Curie 789 K, sedangkan Erkovan *et al.* (2014) pada *alloy* Co<sub>0.6</sub>Pt<sub>0.4</sub> menghasilkan temperatur Curie 970 K, kemudian pada penelitian Nazah (2017) dilakukan secara simulasi dengan ukuran 5 nm model *nanocube* pada *alloy* Co<sub>0.7</sub>Pt<sub>0.3</sub>, *alloy* Co<sub>0.8</sub>Pt<sub>0.2</sub>, dan *alloy* Co<sub>0.9</sub>Pt<sub>0.1</sub> masing-masing menghasilkan temperatur Curie 1050 K, 1180 K dan 1260 K. Pada penelitian penentuan temperatur Curie ini dilakukan dengan memvariasikan ukuran sisi kubik pada masing-masing komposisi. Hasil simulasi temperatur Curie tersebut akan dibandingkan dengan referensi. Keakurasian dari penelitian ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (3.1)

$$\text{keakurasian} = \left( 1 - \left| \frac{T_{C(\text{Referensi})} - T_{C(\text{simulasi})}}{T_{C(\text{Referensi})}} \right| \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

### 3.5.2 Analisis Data Simulasi untuk Menentukan Pembuatan Kurva Histerisis Material *Alloy* Co<sub>(1-x)</sub>Pt<sub>(x)</sub>

Hasil simulasi untuk pembuatan kurva histerisis ini sama dengan analisis pada penentuan temperatur Curie, yaitu dianalisis dengan menggunakan program *Origin*. Analisis dilakukan dengan membuat kurva antara magnetisasi (M) terhadap medan magnet luar (H). Hal ini dilakukan untuk melihat medan koersivitas yang terbentuk dari material *alloy* Co<sub>(1-x)</sub>Pt<sub>(x)</sub>. Besar medan koersivitas yang diperoleh dapat menentukan material *alloy* Co<sub>(1-x)</sub>Pt<sub>(x)</sub> tergolong kategori *hard* magnet atau *soft* magnet ditinjau dari bentuk *loop* kurva histerisisnya dan medan koersivitas seperti pada Gambar 2.7. Pada penentuan kurva histerisis material *alloy* Co<sub>(1-x)</sub>Pt<sub>(x)</sub> dilakukan dengan adanya variasi komposisi dan variasi temperatur pada ukuran 5 nm model *nanocube*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui material feromagnetik atau bukan material feromagnetik dengan melakukan analisis menggunakan kurva histerisis yang terbentuk. Pada material feromagnetik seperti Gambar 3.6 (a) yang telah dilakukan oleh Ni'mah (2016) pada material *alloy* Co<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>, kurva yang terbentuk dapat dianalisis besar nilai koersivitasnya karena temperatur inputnya di bawah temperatur Curie

materialnya. Ketika temperatur yang diberikan melebihi dari temperatur Curie maka kurva histerisisnya akan mengalami kerusakan dan nilai koersivitasnya tidak bisa diperoleh seperti Gambar 3.6 (b).



Gambar 3.6 (a). Kurva histerisis  $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}$  dengan variasi suhu di bawah nilai  $T_c$ ,  
(b). Kurva histerisis pada suhu di atas  $T_c$  (Ni'mah, 2016)

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian analisis temperatur Curie dan kurva histerisis material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  model *nanocube* dengan simulasi mikromagnetik maka dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Semakin besar variasi komposisi Co yang diberikan maka temperatur Curie yang diperoleh akan semakin tinggi. Semakin besar ukuran sisi kubik maka nilai temperatur Curie akan semakin meningkat. Komposisi terbaik dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  yaitu pada material *alloy*  $\text{Co}_{0,9}\text{Pt}_{0,1}$  diperoleh nilai temperatur Curie sebesar 1250 K pada ukuran 5 nm.
2. Karakteristik kurva histerisis dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan perubahan medan koersivitas seiring dengan adanya variasi komposisi dan temperatur. Seiring bertambahnya komposisi Co maka medan koersivitas yang dihasilkan akan meningkat. Berdasarkan hasil simulasi terdapat 4 pola kurva histerisis yang terbentuk. Pada pola pertama (0 K), pola kedua (328 K), dan pola ketiga (339 K) diperoleh medan koersivitas dari kurva histerisis. Sedangkan pada pola keempat ketika temperatur di atas temperatur Curie, maka kurva histerisis mengalami kerusakan. Material  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  termasuk *hard magnet* karena medan koersivitas hasil simulasi lebih dari 10 kA/m atau setara dengan 0,0125 T.

### 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui nilai temperatur Curie dan karakteristik kurva histerisis dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  model *nanocube* dengan simulasi mikromagnetik. Komposisi terbaik dari material *alloy*  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$  yaitu pada material *alloy*  $\text{Co}_{0,8}\text{Pt}_{0,2}$  dan  $\text{Co}_{0,9}\text{Pt}_{0,1}$ . Namun terdapat beberapa hal yang masih perlu dilakukan penelitian selanjutnya yaitu dengan lebih banyak variasi temperatur dan ukuran pada penentuan kurva histerisis, agar lebih terlihat perbedaan pada medan koersivitasnya. Selain itu juga bisa dikembangkan

ke dalam bentuk *nanosphere*, *nanowire*, dan sebagainya. Selain menggunakan model *random alloy*, penelitian juga dapat menggunakan model *double layers*.



**DAFTAR PUSTAKA**

Aiga, N. 2018. Simulasi Mikromagnetik Sifat-Sifat Material  $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$  *Random Alloy* berbagai Variasi Ukuran Partikel. *Skripsi*. Jember: FMIPA UNEJ.

Alvarez, G. S. 2008. *Cubic versus spherical magnetic nanoparticles: the role of surface anisotropy*. *J. Am. Chem. Soc.* 130.

Asrofi, dan B. E. Purnama. 2013. Rancang Bangun Alat Kontrol Otomatis Pendingin Komputer Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8L. *Indonesian Journal on Networking and Security (IJNS)*. 2(2).

Bahar, A. 2015. Visualisasi dan Perhitungan Laju Difusi Atom Besi dalam Timbal Cair untuk Memahami Mekanisme Penghambatan Korosi Besi. *Skripsi*. Jember: FMIPA Universitas Jember.

Ballela, M. D. L. 2008. *Synthesis and Characterization of Cobalt Nanoparticles Prepared by Liquid-Phase Reduction*. University Sains Malaysia.

Bazerra-Netto, M. M., M. S. Ribeiro, B. Sanyal, A. Bregman, R. B. Muniz, O. Eriksson, dan A. B. Klatau. 2013. Complex Magnetic Structure of Clusters and Chains of Ni and Fe on Pt (111). *Scientific Report*. Brazil: Universidade Federal do Para.

Budhani, R. C., dan R. K. Rakshit. 2008. *Nanomagnetics with lasers*. 31(3): 241-247.

Callister, W. D., dan D. G. Rethwisch. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction*. Eighth Edition. New York: John Wiley & Sons.

Ekreem, N. B. 2009. An Investigation Of Electromagnetic Rig – Generated Strong Magnetic Fields. *Tesis*. Ireland: Dublin City University.

Erkovan, M., M. T. Öcal, dan O. Öztürk. 2014. *Tuning Magnetic Properties Polycrystalline of PtCo Alloys Films with Pt*: Cornell University Library.

Evans, R. F. L., dan A. Biternas. 2014. *Vampire User Manual : Software Version 4.0*. The University of York, York, YO10 5DD : Departement of Physics.

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

Halliday, D., dan R. Resnick. 1978. *Fisika 2*. Edisi Ketiga. Diterjemahkan oleh: Silaban, P. dan Sucipto, E. Surabaya: Penerbit Erlangga.

Hosoiri, K., F. Wang, S. Doi, dan T. Watanabe. 2003. Preparation and characterization of electrodeposited Co-Pt binary alloy film. *Material Transaction*. 44(4): 653:656.

Irayanti, E. 2016. Investigasi Sifat-Sifat Magnetik Material *Alloy* Feromagnetik  $Fe_{1-x}Pt_x$  menggunakan Simulasi Mikromagnetik dengan Model Atomistik. *Skripsi*. Jember: FMIPA UNEJ.

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

Istiyono, E. 2009. Analisis Sifat Magnetik Bahan yang Mengalami Proses Annealing dan Quenching. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA* Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.

Lacovacci, V., G. Lucarini, L. Ricotti, dan A. Menciassi. 2016. Magnetic Field Based Technologies For Lab-On-a-Chip Application. Italy : intech.

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

Muhammady, S., Suharyana, dan B. Purnama. 2012. Kajian Simulasi Mikromagnetik Ketergantungan Tipe-nukleasi Magnetisasi Reversal terhadap Waktu pada Nano Dot Permalloy. *Indonesian Journal of Applied Physics* 2 (2): 164.

- Nazah, S. F. 2017. Investigasi Sifat-Sifat Magnetik Alloy  $\text{Co}_{1-x}\text{Pt}_x$  dan Penentuan Temperatur Curie Berdasarkan Simulasi Mikromagnetik. *Skripsi*. Jember: FMIPA UNEJ.
- Newmman, M. 1999. *Monte Carlo Methoden In Statistical Physics*. New York: Oxford University Press.
- Ni'mah, M. A. 2016. Studi Material Alloy Feromagnetik  $\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x$  Model Nanocube Menggunakan Simulasi Mikromagnetik Model Atomistik. *Skripsi*. Jember: Universitas Jember.
- Nursiyanto, W., B. Soegijono, dan E. Djatmoko. 2015. Pengaruh Bentuk Notch terhadap Kurva Histerisis Bahan Feromagnetik Nanowire. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2015-VI-1*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.
- Okimustava, dan R. Oktova. 2009. Penentuan Suhu Curie Besi dengan Metode Kawat Berarus Listrik. *Prosiding Seminar Fisika dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan.
- Oktaviani, Rizka, P. Bayu, dan Helmi. 2014. Penyelesaian Numerik Sistem Persamaan Diffrenesial Non Linear dengan Metode Heun pada Model Lotka- Volterra. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya*.03(1).
- Puri, R.K., dan V. K. Babbar. 2001. *Solid State Physics and Electronics*. New Delhi: S. Chand and Company LTD.
- Qunfeng, X. 2003. Experimental Study of Nanoscale Exchange Coupling. *Tesis*. China: Faculteit der Natuurwettenschappen, Wiskunde en Informatica.
- Rohman, L. 2013. Investigasi Sifat-sifat Magnetik Bahan LSMO ( $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ) untuk Aplikasi Storage Device dengan Menggunakan Modeling Mikromagnetik. *Disertasi*. Jember: Universitas Jember.
- Safari, A. 2008. Studi Temperatur Curie Alloy Magnetik  $\text{Fe}_{100-x}\text{Six}$ . *Tesis*. Depok: FMIPA Universitas Indonesia.

- Sharif, R. S., Shamaila, M. Ma, L. D. Yao, R. C. Yu, X. F. Han, Yong Wang, M. Khaleeq-ur-Rahman. 2007. Magnetic and microstructural characterizations of CoFe and CoFeB nanowires. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 320 (2008) 1512–151.
- Skomski, R. 2008. *Simple Models of Magnetism*. New York: Oxford University Press.
- Sudjatmoko. 2005. *Kajian Sifat Bahan Lapisan Tipisferomagnetik  $Ni_xFe_{1-x}$  Hasil Deposisi Dengan Teknik Evaporasi Hampa*. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju. ISSN 0216 – 3128.
- Sugiarto, T. D., I. P. Handayani, dan R. F. Iskandar. 2013. Analisis dan Simulasi Distribusi Panas pada *Heat Sink Processor CPU* dengan *Comsol Multiphysics*. Teknik Fisika - Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom.
- Sulanjari, W. N. Santi, A. A. Artanti, E. Suharyadi, T. Kato, dan S. Iwata. 2014. Kajian Sifat Kemagnetan pada Nanopartikel *Cobalt Ferrit (CoFeO)* yang di *coating* dengan *Polyethylene Glyko. (PEG-4000)* dan Silika. *Jurnal Fisika Indonesia*. 18(54): 103-107.
- Sun, X., Z. Y. Jia, Y. H. Huang, J. W. Harrell, dan D.E. Nikles. 2004. Syntesis and magnetic properties of CoPt nanoparticles. *Journal Of Applied Physics*. 95(11):0021-8979.
- 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.
- Vernyhora, I. 2009. Modélisation á l'échelle atomique de l'évolution microstructurale dans les alliages Ni-Fe : Corrélation entre les propriétés magnétiques et structurales. *Tesis*. Francais: Physique [physics], Universite de Rouen.
- Warsiti. 2005. *Studi Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Struktur Kristal Dan Magnetoresistansi Permalloy NiFe Hasil Elektrodeposisi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

- Wahyudi, E. N. 2005. Mengenal hard disk lebih dekat. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*.10(3) : 168-177.
- Weller, D., O. Mosendz, G. Parker, S Pisana, dan T. S. Santos. 2013. L1 0 ePtX-media for heat-assisted magnetic recording. *Phys. Status Solidi A*. 201 :1245-1260.
- Wibowo, N. A. 2011. Simulasi Mikromagnetik Mode Magnetisasi Reversal berbantuan Panas pada Nanodot Magnetik Beranisotropi Tegak Lurus dengan Menyelesaikan Persamaan Landau-Lifshitz-Gilbert. *Tesis*. Surakarta: Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret.
- Widodo, A. T. 2013. *Studi Mikromagnetik Dinamika Struktur Domain Pada Material Feromagnetik Py, Ni, Fe Dan Co Model Nanosphere*. Depok: Universitas Indonesia.
- Yani, A., Ridwan dan Mujamilah. 2014. Simulasi Histerisis Pada Bahan Feromagnetik Dengan Model JILES-ATHERTON. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN: 1411-1098: 85-90.
- Yu, Y. L., J. S. Wang, dan Y. Nakamura. 2014. Magnetic Reversal Mechanism In Strong Perpendicular Magnetic Anisotropic CoPt/AIN Multilayer Film. *Journal of Applied Physics and Chemistry of Solids*. 75(2014) : 1301-1304.