



**SIMULASI MIKROMAGNETIK
SIFAT-SIFAT MATERIAL $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *RANDOM*
ALLOY BERBAGAI VARIASI UKURAN PARTIKEL**

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

Nazril Aiga

NIM 141810201035

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

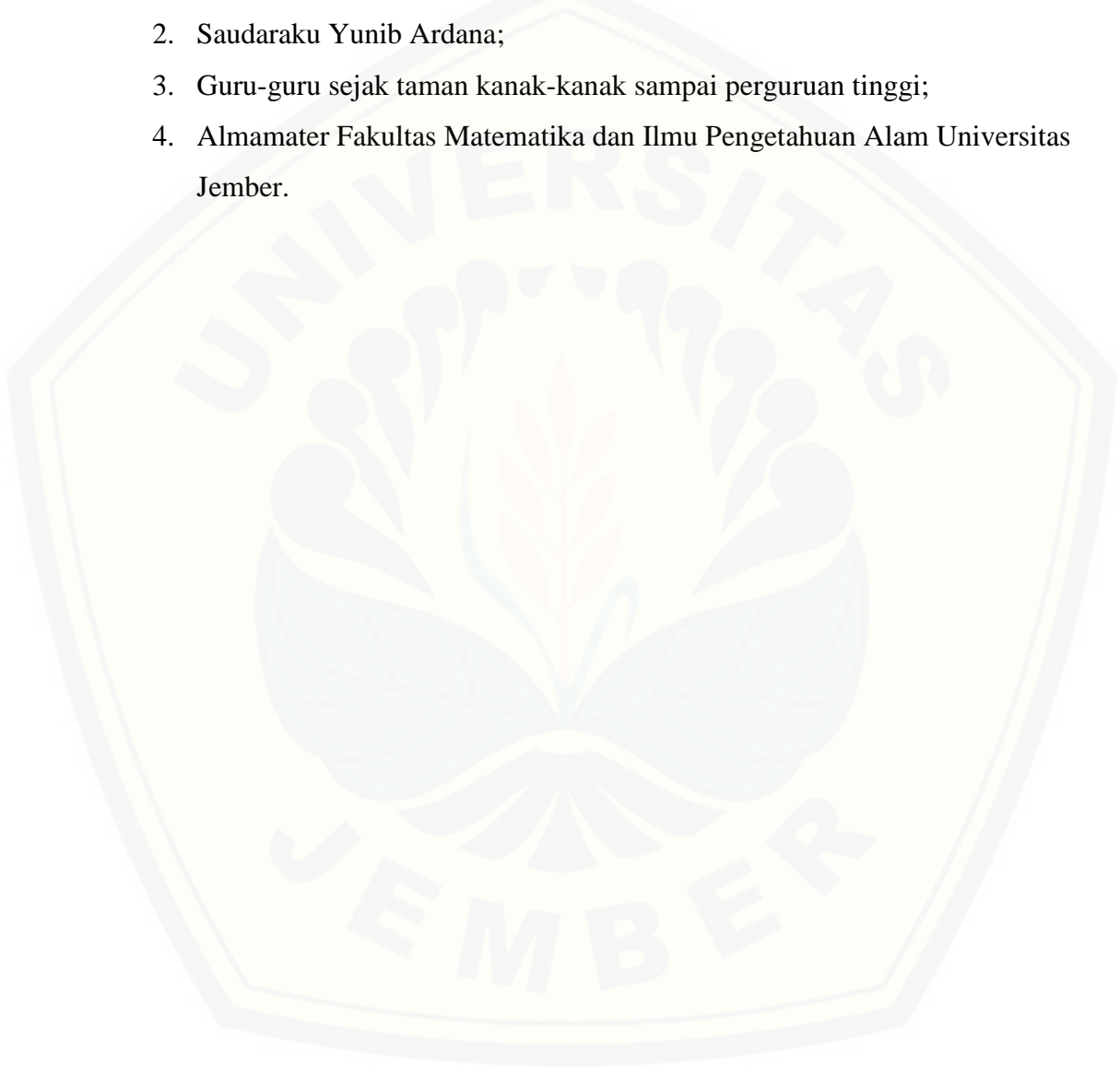
UNIVERSITAS JEMBER

2018

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan untuk :

1. Ibunda Ida Liyah, Ayahanda Abdul Gani, Uti Jama'iyah, Kakong Tayyib, Alm. Uti Ramla dan Alm. Kakong Sumardi yang tercinta;
2. Saudaraku Yunib Ardana;
3. Guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi;
4. Almamater Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.



MOTTO

“ Prestasi harus melangit tapi hati tetap harus membumi. Karena yang besar itu adalah karyamu bukan kepalamu”



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nazril Aiga

NIM : 141810201035

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “ Simulasi Mikromagnetik Sifat-sifat Material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy* Berbagai Variasi Ukuran Partikel ” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

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

Jember, 23 Mei 2018

Yang menyatakan,

Nazril Aiga

NIM 141810201035

SKRIPSI

**SIMULASI MIKROMAGNETIK
SIFAT-SIFAT MATERIAL $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *RANDOM*
ALLOY BERBAGAI VARIASI UKURAN PARTIKEL**

Oleh

Nazril Aiga

NIM 141810201035

Pembimbing

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

Dosen Pembimbing Anggota : Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M. Phill., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Simulasi Mikromagnetik Sifat-sifat Material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy* Berbagai Variasi Ukuran Partikel” karya Nazril Aiga 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.

A.T.Nugroho., S.Si., M. Phill., Ph.D

NIP. 197208201998021001

NIP. 196812191994021001

Anggota II,

Anggota III,

Bowo.E.Cahyono.,S.Si.,M.Si.,Ph.D. Dra. Arry.Y.Nurhayati, M.Si.

NIP. 197202101998021001

NIP. 196109091986012001

Mengesahkan

Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.

NIP. 196102041987111001

RINGKASAN

Simulasi Mikromagnetik Sifat-sifat Material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ Random Alloy Berbagai Variasi Ukuran Partikel ; Nazril Aiga, 141810201035: 51 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Hard Disk Drive (HDD) merupakan media penyimpan data yang memiliki komponen bahan dasar magnetik. Salah satu bahan magnetik yang berpotensi untuk digunakan sebagai komponen pembuatan *Hard Disk Drive* adalah bahan feromagnetik. Bahan feromagnetik adalah bahan yang memiliki sifat kemagnetan yang sangat baik dibandingkan dengan bahan magnetik lainnya untuk menjadi komponen dasar pembuatan HDD. Salah satu kelebihan bahan feromagnetik adalah nilai temperatur Curie yang tinggi karena memiliki arah spin domain yang searah meskipun tanpa adanya medan eksternal. Arah spin domain yang searah menandakan bahwa HDD dapat bekerja dengan baik sedangkan jika arah spinnya berubah menjadi acak HDD akan mengalami keadaan *overheat* yang dapat menyebabkan kelambatan kinerjanya bahkan kerusakan permanen HDD. Contoh bahan feromagnetik diantaranya adalah: besi (Fe), Nikel (Ni), Cobalt (Co) dan *alloy*. Salah satu *Alloy* yang berpotensi digunakan untuk komponen pembuatan HDD adalah *alloy* CoNi karena memiliki sifat kemagnetan yang baik. Oleh sebab itu, dalam skripsi ini bahan CoNi dengan komposisi $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy* dipilih sebagai bahan dasar untuk diteliti lebih spesifik sifat kemagnetannya.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa nilai temperatur Curie dan kurva histerisis bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy*. Nilai temperatur Curie didapatkan dari hubungan antara magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur. Kurva histerisis didapatkan dari hubungan antara magnetisasi dan medan eksternal. Bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy* yang memiliki nilai temperatur Curie tinggi, medan koersivitas serta medan saturasi yang baik merupakan bahan yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan HDD yang baik.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi mikromagnetik berbasis *atomistic model*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan komposisi bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ karena memiliki nilai temperatur Curie paling tinggi dibandingkan dengan komposisi lainnya dengan menggunakan variasi ukuran. Variasi ukuran yang digunakan adalah 5 nm, 10 nm, 15 nm, 20 nm untuk analisis temperatur Curie dan ukuran 5 nm, 10 nm untuk analisis kurva histerisis. Penelitian tentang pengaruh variasi ukuran bahan ini dilakukan karena belum banyak penelitian yang mengkaji tentang pengaruh ukuran bahan paduan CoNi. Simulasi dilakukan dengan membuat file bahan yang berisi parameter-parameter bahan CoNi yaitu konstanta *exchange*, momen spin atom dan energi anisotropi. Selain itu juga dibuat file *input* yang berisi bentuk kristal, struktur kristal, metode yang digunakan dan perintah simulasi. Kedua file tersebut diletakkan dalam satu folder dan dilakukan *running* simulasi untuk mendapatkan data output. Data output yang digunakan untuk analisis data adalah magnetisasi pada berbagai temperatur, suseptibilitas pada berbagai temperatur serta medan eksternal. Kemudian dari

analisis magnetisasi dan suseptibilitas ditentukan besarnya temperatur Curie dengan melakukan penggabungan dua grafik hubungan tersebut. Kemudian dilakukan pemetaan hubungan antara magnetisasi dan medan magnet eksternal menjadi suatu kurva histerisis. Hasil analisis ini menjadi dasar untuk membuat kesimpulan ukuran paling baik yang dapat digunakan.

Hasil penelitian menunjukkan nilai temperatur Curie material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy* pada variasi ukuran 5 nm diperoleh nilai temperatur Curie 1175 K dan untuk variasi ukuran 10 nm, 15 nm dan 20 nm diperoleh nilai temperatur Curie 1225 K. Karakteristik kurva histerisis dari material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy* berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan perubahan medan koersivitas dan medan saturasinya. Pada variasi ukuran 5 nm medan saturasi dan medan koersivitas mempunyai pola nilai yang menurun karena adanya variasi input suhu. Sedangkan, pada saat variasi ukuran 10 nm perubahan medan saturasi dan medan koersivitas mempunyai pola yang berfluktuasi karena adanya variasi input suhu dan adanya pengaruh ukuran kritis bahan CoNi. Jadi berdasarkan nilai temperatur Curie dan karakteristik kurva histerisis dapat disimpulkan bahwa ukuran 10 nm adalah ukuran yang paling baik digunakan untuk menjadi komponen pembuatan HDD dari bahan alloy $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ yang dapat digunakan seefisien mungkin. Namun, terdapat beberapa hal yang masih perlu diteliti lebih lanjut diantaranya adalah menggunakan bentuk yang berbeda dan rentang nilai ukuran yang lebih kecil sehingga diperoleh nilai ukuran yang lebih signifikan sehingga penelitian mengenai ukuran kritis bahan CoNi akan lebih sempurna.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT. karena atas berkat, rahmat, serta hidayah-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Mikromagnetik Sifat-sifat Material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *Random Alloy* Berbagai Variasi Ukuran Partikel”. Sholawat dan salam semoga senantiasa selalu menuntun dan mengiringi langkah dan aktivitas kita dalam melangkah menggapai ridhlo-NYA. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S-1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

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

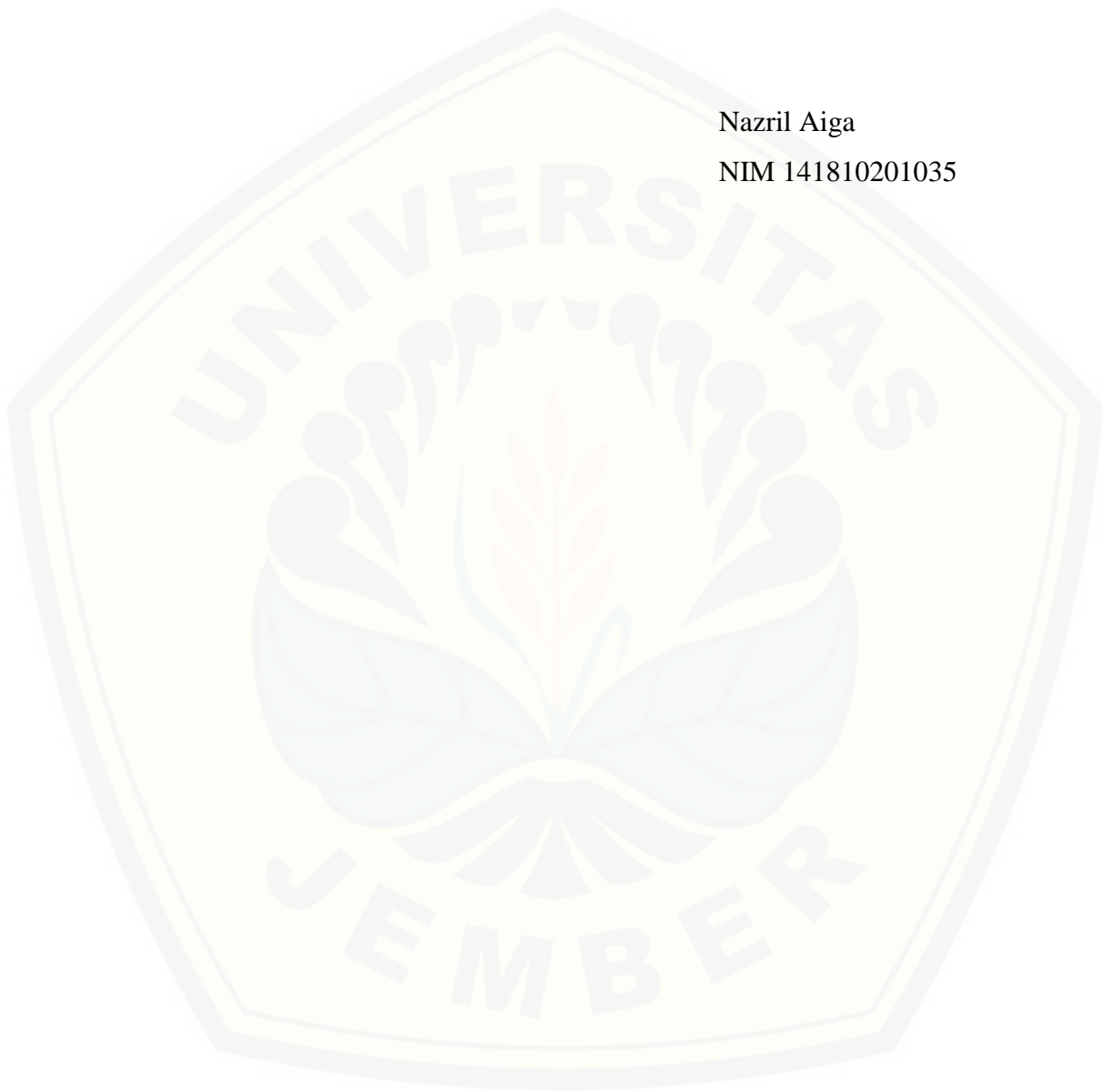
1. Bapak Dr. Lutfi Rohman, S.Si, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama sekaligus Dosen Pembimbing Akademik, dan Bapak Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M. Phill., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, tenaga, dan perhatian dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Bapak Bowo Eko Cahyono, S.Si, M.Si., Ph.D., dan Ibu Dra. Arry Yuariatun Nurhayati, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi;
3. Kedua Orang Tua tercinta (Bapak, Ibu) dan adikku tersayang (Yunib Ardana, Moh Zaki Maulana Akbar, Syaif Ali Hasan) yang tiada henti memberikan motivasi, nasehat serta pengorbanan yang tak terbatas;
4. Teman-teman Graphytasi 2014 dan Anggota Keluarga Kos Kalimantan X 35 yang telah banyak membantu memberi semangat;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Jember, 23 Mei 2018

Nazril Aiga

NIM 141810201035



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sifat Magnetik Material	6
2.1.1 Paramagnetik.....	6
2.1.2 Diamagnetik	7
2.1.3 Feromagnetik	8
2.2 Struktur Kristal	9
2.2.1 <i>Body Centered Cubic</i> (BCC).....	9
2.2.2 <i>Face Centered Cubic</i> (FCC)	9
2.2.3 <i>Hexagonal Closed Packed</i> (HCP).....	10
2.3 Bahan Paduan CoNi	10
2.4 Kurva Histerisis	13

2.5 Temperatur Curie	14
2.6 Suseptibilitas Magnetik	15
2.7 Magnetisasi dan Manetisasi Ternormalisasi	17
2.8 Simulasi Mikromagnetik	18
2.9 Metode Monte Carlo	18
2.10 Metode Heun.....	19
BAB 3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Rancangan Penelitian	21
3.2 Jenis dan Sumber Data.....	22
3.3 Definisi Operasional Variabel.....	23
3.4 Kerangka Pemecahan Masalah	26
3.4.1 Diagram Penelitian.....	26
3.4.2 Simulasi Mikromagnetik.....	27
3.5 Metode Analisis Data	28
3.5.1 Analisis Data Temperatur Curie Bahan <i>Alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$	28
3.5.2 Analisis Grafik Hubungan Suseptibilitas Magnetik dengan Temperatur	29
3.5.3 Analisis Kurva Histerisis	30
3.5.4 Analisis Hasil Visualisasi Struktur Domain Bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$	31
3.5.5 Analisis Hasil 6 Variabel Sifat-sifat Magnetik untuk Mencari Nilai Ukuran Terbaik	31
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1 Penentuan Nilai Temperatur Curie Pada Bahan <i>Alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$	32
4.2 Karakteristik Kurva Histerisis dari Bahan <i>Alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$	39
BAB 5. PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	48



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Konstanta dari Material Feromagnetik Fe, Co, Ni dan Gd	12
3.1 Jenis Data yang Digunakan untuk Simulasi Temperatur Curie.....	23
3.2 Jenis Data yang Digunakan untuk Simulasi Kurva Histerisis	23
3.3 Sumber Data untuk Simulasi Mikromagnetik.....	23
4.1 Nilai Temperatur Curie Bahan <i>Alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ Berdasarkan Variasi Ukuran Sisi Kubus	36
4.2 Nilai Medan Saturasi (H_s) dan Medan Koersivitas (H_c) Bahan Bahan <i>Alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pada Berbagai Variasi Suhu <i>Input</i> Ukuran 5 nm dan 10 nm.....	41

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Momen magnetik bahan paramagnetik dengan tanpa medan magnet luar (H).....	7
2.2 Momen magnetik bahan diamagnetik dengan tanpa medan magnet luar (H) dan dengan adanya medan magnet luar (H).....	7
2.3 Momen magnetik bahan feromagnetik tanpa medan magnet luar (H).....	8
2.4 Struktur kristal BCC (a) jumlah atom tiap unit sel (b) dengan 8 bilangan koordinasi (c) satu unit sel dengan satu atom di tengah dan disetiap sudutnya	9
2.5 Struktur kristal FCC (a) jumlah atom tiap unit sel (b) dengan 12 bilangan koordinasi	10
2.6 Struktur kristal HCP (a) dengan 12 bilangan koordinasi (b) jumlah atom tiap unit sel.....	10
2.7 Struktur kristal FCC dari bahan $\text{Co}_{20}\text{Ni}_{80}$ dengan pemberian Hidrogen pada material tersebut	11
2.8 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 μm (a) sejajar dengan medan luar dan (b) tegak lurus dengan medan luar	12
2.9 Kurva histeresis untuk material feromagnetik. (a) M terhadap H : M_r adalah magnetisasi remanen; H_{ci} adalah koersivitas intrinsik; M_s adalah magnetisasi saturasi; (b) B terhadap H : B_r adalah remanen; H_c adalah koersivitas.....	14
2.10 Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan temperatur pada bahan paramagnetik dan feromagnetik	16
2.11 Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan temperatur pada bahan feromagnetik	17
3.1 Desain sederhana simulasi mikromagnetik pada bahan paduan $\text{Co}_{(0.8)}\text{Ni}_{(0.2)}$	22
3.2 Diagram Simulasi Penelitian.....	26

3.3	Diagram Simulasi Mikromagnetik.....	27
3.4	Grafik temperatur Curie pada program origin	29
3.5	Grafik suseptibilitas magnetik terhadap temperatur	30
3.6	Kurva Histerisis.....	30
4.1	Grafik magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 5 nm	34
4.2	Grafik magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 10 nm	34
4.3	Grafik magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 15 nm	35
4.4	Grafik magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 20 nm	35
4.5	Grafik magnetisasi dan suseptibilitas terhadap temperatur pada <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 10 nm dengan enam titik magnetisasi untuk analisis spin domain	37
4.6	Perubahan arah magnetisasi pada bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ ukuran 10 nm	37
4.7	Kurva histerisis dari bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ terhadap variasi input suhu pada ukuran 5 nm	39
4.8	Kurva histerisis dari bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ terhadap variasi input suhu pada ukuran 10 nm	40
4.9	Kurva histerisis dari bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pada suhu input 328 K ukuran 5 nm dengan 10 titik magnetisasi untuk analisis spin domain.....	43
4.10	Contoh proses perubahan magnetisasi bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pada saat temperatur 328 K untuk ukuran 5 nm	43
4.11	Kurva histerisis dari bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pada suhu input 328 K ukuran 10 nm dengan 10 titik magnetisasi untuk analisis spin domain.....	44
4.12	Contoh proses perubahan magnetisasi bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pada saat temperatur 328 K untuk ukuran 10 nm	44

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Perhitungan Keakurasian Penelitian Temperatur Curie Ukuran 5 nm Bahan Alloy $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ Geometri Kubus	52
B. Perhitungan Nilai Ukuran Kritis Berdasarkan Perbandingan Volume Bola dan Volume Kubus	52
1. Nilai diameter kritis 10 nm bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ geometri bola	52
2. Nilai diameter kritis 11 nm bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ geometri bola	53
3. Nilai diameter kritis 12 nm bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ geometri bola	53
C. Visualisasi Struktur Domain Berdasarkan Perubahan Temperatur pada Analisis Temperatur Curie	54
1. Struktur Domain pada Ukuran 5 nm	54
2. Struktur Domain pada Ukuran 15 nm	55
3. Struktur Domain pada Ukuran 20 nm	56
D. Visualisasi Struktur Domain Berdasarkan Perubahan Temperatur pada Analisis Kurva Histerisis	58
1. Struktur Domain pada Ukuran 5 nm	58
a) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K.....	58
b) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 473 K.....	59
c) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 900 K.....	60
2. Struktur Domain pada Ukuran 10 nm	61
a) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 0 K.....	61
b) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 473 K.....	63
c) Struktur domain bahan <i>alloy</i> $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan temperatur <i>input</i> 900 K	65





**SIMULASI MIKROMAGNETIK
SIFAT-SIFAT MATERIAL $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *RANDOM*
ALLOY BERBAGAI VARIASI UKURAN PARTIKEL**

SKRIPSI

Oleh

Nazril Aiga

NIM 141810201035

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2018

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem komputer pada era modern ini menuntut suatu perangkat penyimpanan HDD yang berkapasitas tinggi untuk menunjang efisiensi dengan dimensi yang sangat kecil dan kecepatan yang sangat tinggi. Kebutuhan ini dapat diatasi dengan meningkatkan kerapatan bit HDD tersebut. Namun, ada masalah yang dihadapi setelah kerapatan bit ditingkatkan yaitu ketidakstabilan HDD karena adanya efek superparamagnetik. Efek superparamagnetik adalah sifat yang muncul pada nanomaterial yang berorde satu domain magnet, sehingga akibatnya partikel tersebut akan sangat reaktif terhadap medan magnet luar (Sulanjari *et al.*, 2014). Energi magnetisasi akan menurun ketika nilai kerapatan bit ditingkatkan. Akibatnya akan terjadi proses demagnetisasi dan perubahan orientasi magnet oleh perubahan suhu yang tinggi pada keadaan energi magnetisasi yang menurun (Dobisz, 2008). Hal terburuk yang terjadi yaitu disk bisa kehilangan data yang tersimpan. Ketika HDD bekerja secara terus menerus, HDD akan mencapai suhu maksimumnya yang disebut dengan keadaan *overheat*.

Suhu pada saat *overheat* dapat mencapai hingga 339 K, dimana HDD akan mengalami perlambatan kinerjanya dan umur HDD yang lebih singkat bahkan kemungkinan terjadinya kerusakan permanen pada HDD (Sugiarto, 2013). Hal ini dikarenakan suhu HDD saat komputer bekerja mencapai 50°C – 58°C, sehingga pada saat suhunya mencapai 66°C HDD mengalami keadaan *overheat* (Asrofi, 2013). Dengan demikian, produksi HDD yang kuat dan tahan terhadap panas sangat diperlukan guna mengurangi resiko *overheat* karena efek termal dari HDD tersebut agar HDD bisa digunakan seefisien mungkin.

Tidak semua bahan yang ada di alam dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan HDD. Salah satu bahan yang berpotensi untuk diaplikasikan sebagai media penyimpanan data adalah bahan feromagnetik. Beberapa contohnya yaitu besi, nikel, gadolinium, kobalt dan paduannya (*alloy*). Bahan feromagnetik merupakan bahan yang mempunyai nilai suseptibilitas magnetik positif dan sangat

tinggi. Selain itu, bahan feromagnetik juga merupakan bahan yang memiliki resultan medan atomis terbesar yang disebabkan oleh momen spin elektron. Pada bahan ini, terdapat banyak spin yang tidak berpasangan yang akan menimbulkan medan magnetik, sehingga total medan magnetik yang dihasilkan oleh suatu atom menjadi lebih besar (Billah, 2006). Bahan feromagnetik juga memiliki temperatur Curie yang tinggi, sifat kemagnetan yang kuat, dan memiliki orientasi momen magnetik hampir searah meski tanpa medan eksternal (Puri dan Babbar, 2001). Oleh karena itu, sifat kemagnetan bahan dapat diamati berdasarkan nilai temperatur Curiannya. Temperatur Curie adalah temperatur dimana magnetisasi spontan lenyap dan memisahkan fase paramagnetik dari fase feromagnetik. Magnetisasi pada bahan feromagnetik akan spontan hilang jika dipanaskan di atas di atas suhu karakteristik yang disebut dengan temperatur Curie (Sudjatmoko, 2005).

Penelitian mengenai sifat bahan paduan CoNi telah mendapatkan banyak perhatian, karena merupakan paduan logam yang memiliki karakteristik kemagnetan yang cukup baik. Bahan feromagnetik kobalt (Co) memiliki tekstur yang kuat, nilai magnetik anisotropi yang besar (6.69×10^{-24} J/atom), temperatur Curie (1388 K) serta medan koersivitas yang tinggi (pada diameter 550 nm sebesar 512 Oe) (Balela, 2008). Sedangkan untuk bahan nikel (Ni) memiliki nilai anisotropi tertinggi jika dipadukan dengan bahan lainnya, tahan korosi, struktur yang kuat dan koersivitas yang tinggi (pada diameter 750 nm sebesar 426 Oe) (Davis, 2000). Seperti banyak yang diketahui unsur Co sangat banyak digunakan sebagai bahan pembuatan media perekam karena sifat kemagnetannya yang baik. Sebagai upaya untuk mengurangi eksploitasi bahan Co yang berlebihan, maka bahan paduan dijadikan alternatif dalam pengembangan teknologi bahan (Wahyudi, 2018). Teknologi paduan memungkinkan untuk diperolehnya bahan yang lebih baik sifat kemagnetannya. Selain itu, harga ekonomis kobalt nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan bahan nikel. Sehingga bahan paduan Co dan Ni yang memiliki sifat-sifat kemagnetan sangat baik menjadi salah satu paduan yang digunakan sebagai bahan pembuatan HDD yang dapat digunakan seefisien mungkin dan dapat diperoleh dengan harga yang terjangkau.

Arifin (2016) telah melakukan penelitian mengenai sifat kemagnetan bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ model *nanocube* dengan cara simulasi dengan mengamati nilai temperatur Curie (T_c) dan kurva histerisis menggunakan variasi komposisi bahan pada bentuk *random alloy*. Hasil yang diperoleh untuk bahan $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ *random alloy* dengan komposisi $\text{Co}_{0.2}\text{Ni}_{0.8}$, $\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5}$ dan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dengan nilai T_c masing-masing 800 K, 1000 K dan 1250 K. Variasi komposisi Co dan Ni berpengaruh pada besar kecilnya nilai temperatur Curie $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$. Temperatur Curie akan meningkat seiring meningkatnya komposisi bahan kobalt (Co). Hal ini disebabkan karena bahan kobalt (Co) memiliki nilai medan saturasi yang lebih besar daripada bahan nikel (Ni) (Arifin, 2016).

Selain variasi komposisi, faktor lain yang memungkinkan mempengaruhi nilai temperatur Curie suatu bahan adalah ukuran bahan tersebut. Hal ini dikarenakan masing-masing bahan memiliki ukuran kritis yang berbeda. Pada penelitian yang dilakukan oleh Weller dan Doerner untuk bahan paduan CoNi berdasarkan eksperimen ukuran kritisnya diperkirakan bernilai 10 – 12 nm (Weller dan Doerner, 2000). Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengkaji lebih dalam lagi pengaruh ukuran bahan paduan CoNi yang memiliki sifat kemagnetan sangat baik.

Penelitian dalam bidang mikromagnetik dapat dilakukan secara eksperimen dan komputasi. Dalam bidang komputasi penelitian dilakukan dengan cara simulasi mikromagnetik. Program yang tersedia untuk melakukan simulasi beragam jenisnya, beberapa diantaranya adalah OOMMF, NMAG dan *Vampire*. Pada penelitian ini digunakan program simulasi *Vampire* pada Operating System (OS) Windows. Berbeda dengan OOMMF dan NMAG simulasi pada program *Vampire* bisa mensimulasikan sifat magnetik suatu sistem ditinjau berdasarkan temperaturnya. Selain menggunakan program *Vampire*, untuk dapat menganalisis sifat-sifat kemagnetan suatu bahan juga diperlukan software *Origin* dan *Povray*. *Origin* berfungsi sebagai program yang mengolah data *output* dari *Vampire*, dan menampilkannya dalam bentuk diagram maupun grafik yang selanjutnya akan dianalisis. Sedangkan *Povray* berfungsi untuk mengkonversi *output* dari *Vampire*

menjadi gambar visual 3D yang dapat dianalisis spin domainnya (Evans dan Biternas, 2014).

Dalam rangka memperoleh karakteristik bahan paduan CoNi dengan sifat kemagnetan yang baik akan dilakukan kegiatan penelitian menggunakan simulasi mikromagnetik untuk mendapatkan nilai dari suseptibilitas magnetik, kurva histerisis dan temperatur Curie bahan. Oleh karena itu ukuran bahan mempengaruhi sifat kemagnetan bahan, maka kegiatan simulasi dilakukan dengan menganalisis sifat kemagnetan bahan berdasarkan variasi ukuran bahan dengan menggunakan komposisi perolehan nilai temperatur Curie terbaik pada penelitian yang dilakukan oleh Arifin (2016) yaitu $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy* dengan struktur kristal FCC dan nilai temperatur Curie 1250 K. Selain itu $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ juga memiliki nilai anisotropi dan nilai koersivitas yang tinggi mendekati nilai bahan kobalt (Co) dalam analisis kurva histerisisnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (Vivas *et al*, 2012). Hasil simulasi memberikan informasi mengenai perbedaan sifat kemagnetan yang akan dihasilkan berdasarkan variasi ukuran bahan. Dalam hal ini, karakteristik nilai suseptibilitas magnetik dan temperatur Curie bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ akan diamati pada berbagai variasi ukuran yang telah ditentukan yaitu 5 nm, 10 nm, 15 nm dan 20 nm. Sedangkan untuk simulasi kurva histerisis digunakan variasi ukuran 5 nm dan 10 nm, sehingga dapat diperoleh informasi berkenaan dengan ukuran yang paling sesuai untuk mendapatkan sifat kemagnetan yang baik dari bahan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan ukuran kubus yang dapat mempengaruhi sifat kemagnetan bahan dan memiliki nilai optimum maka variasi ukuran akan diteliti lebih dalam lagi guna memperoleh sifat-sifat kemagnetan yang baik untuk bahan paduan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ dan mengkonfirmasi hasil dengan nilai ukuran kritis pada penelitian sebelumnya. Sehingga, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi ukuran bahan terhadap temperatur Curie *random alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$?
2. Bagaimana pengaruh variasi ukuran bahan terhadap perbedaan sifat-sifat

magnetik (medan koersivitas dan medan saturasi) *random alloy* dari bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ berdasarkan analisis kurva histerisisnya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variasi ukuran bahan terhadap temperatur Curie *random alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$.
2. Mengetahui pengaruh variasi ukuran bahan terhadap perbedaan sifat-sifat magnetik (medan koersivitas dan medan saturasi) *random alloy* dari bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ berdasarkan analisis kurva histerisisnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian analitis sifat-sifat magnetik bahan feromagnetik $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy* dalam berbagai ukuran partikelnya diharapkan mampu memberikan pandangan baru mengenai simulasi bahan mikromagnetik dalam bidang ilmu fisika komputasi. Penelitian ini bisa memberikan gambaran yang luas bahwa ilmu fisika dapat mengkaji bahan yang sangat kecil berukuran skala nano khususnya dibidang komputasi. Penelitian ini juga diharapkan menjadi acuan bahan dasar pembuatan media penyimpanan seperti Hard Disk Drive (HDD), yang memiliki peluang untuk menghasilkan suatu media penyimpanan yang lebih efisien dengan kapasitas yang cukup besar dan tahan terhadap panas.

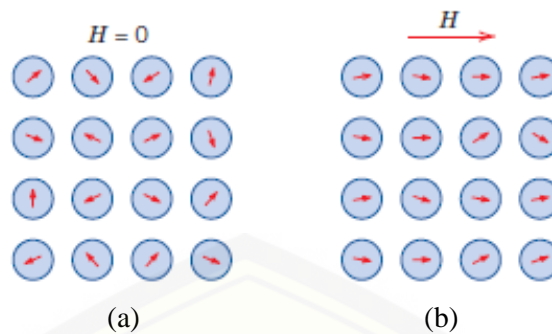
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sifat Magnetik Material

Magnetik adalah suatu fenomena dimana suatu material memiliki medan magnet dan kemampuan untuk tarik-menarik dan tolak-menolak. Contoh dari material magnet yaitu besi, baja, kobalt, nikel serta paduannya (Callister dan Rethwisch, 2009). Suatu material dikatakan bersifat magnet jika momen magnetnya searah. Magnet memiliki dua kutub yaitu kutub utara dan kutub selatan. Kutub magnet merupakan suatu daerah yang berada pada ujung-ujung magnet dan mempunyai kekuatan magnet terbesar. Bahan magnetik adalah suatu bahan yang memiliki sifat kemagnetan berdasarkan komponen pembentuknya. Berdasarkan nilai suseptibilitas magnetiknya, bahan magnetik terbagi menjadi tiga jenis bahan yaitu paramagnetik, feromagnetik dan diamagnetik (Warsiti, 2005).

2.1.1 Paramagnetik

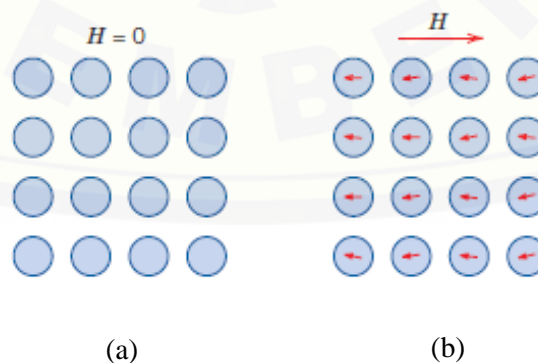
Material paramagnetik adalah material yang memiliki nilai suseptibilitas magnet positif dan sangat kecil (Puri dan Babbar, 2001). Paramagnetisme terjadi pada atom-atom, ion dan molekul yang memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain dengan sangat lemah. Jika tidak ada medan magnet luar, maka momen magnetik akan berorientasi secara acak. Namun, ketika medan magnet luar diterapkan, maka momen magnetik akan mensejajarkan diri searah dengan medan magnet luarnya seperti pada Gambar 2.1. Contoh material yang memiliki sifat paramagnetik adalah Al, Cr, Mo, Na, Ti, Pt dan Zr (Callister dan Rethwisch, 2009).



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

2.1.2 Diamagnetik

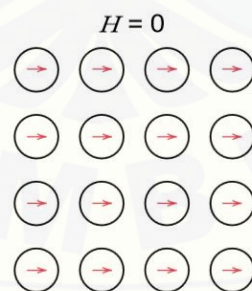
Material diamagnetik merupakan material yang memiliki suseptibilitas magnetik yang bernilai negatif dan sangat kecil (Puri dan Babbar, 2001). Diamagnetisme merupakan sifat suatu benda untuk menciptakan suatu medan magnet yang bersifat non permanen dan memiliki efek yang sangat lemah. Jika diberi medan magnet luar, maka elektron-elektron dalam atom akan mengubah gerakannya, sehingga menghasilkan momen magnet orbital pada Gambar 2.2 berbentuk panah berwarna merah yang arahnya berlawanan dengan medan magnet luar. Contoh bahan yang memiliki sifat diamagnetik adalah Au, Ag, Zn, Hg, dan Si. Material diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas yang sangat kecil. Superkonduktor merupakan contoh material diamagnetik sempurna dengan nilai suseptibilitas sebesar -1 (Callister dan Rethwisch, 2009).



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

2.1.3 Feromagnetik

Material feromagnetik merupakan material yang memiliki nilai suseptibilitas positif dan sangat besar (Puri dan Babbar, 2001). Pada material ini banyak spin elektron yang tidak berpasangan, masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan akan menimbulkan medan magnetik, sehingga medan magnet total yang dihasilkan oleh satu atom menjadi lebih besar (Halliday & Resnick, 1978). Medan magnet dari masing-masing atom dalam bahan feromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi diantara atom-atomnya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membentuk kelompok-kelompok, kelompok inilah yang dikenal dengan domain. Semua domain ditandai dengan panah merah pada Gambar 2.3 akan mensejajarkan diri dengan medan magnet luar pada titik saturasi, yang berarti bahwa setelah seluruh domain sudah terarahkan, penambahan medan magnet luar tidak memberi pengaruh apa-apa karena tidak ada lagi domain yang perlu disearahkan, keadaan ini disebut dengan penjenuhan (saturasi). Material ini juga mempunyai sifat remanensi. Remanensi memiliki artian setelah medan magnet luar dihilangkan, material tersebut akan tetap memiliki medan magnet, karena itu material feromagnetik ini sangat baik digunakan sebagai sumber magnet permanen. Contoh bahan feromagnetik adalah besi, baja, kobalt serta paduannya (Callister dan Rethwisch, 2009).



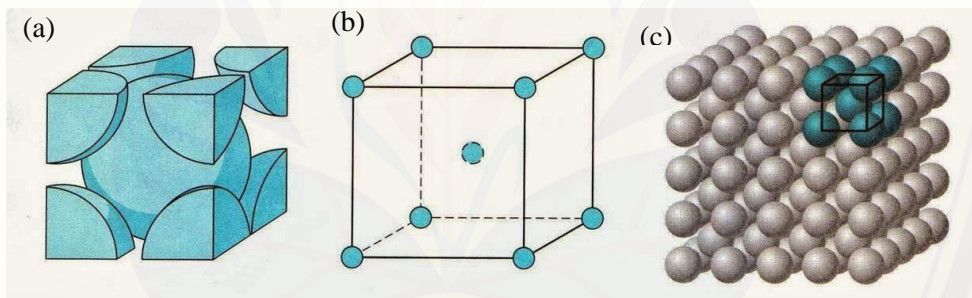
Gambar 2.3 Momen magnetik bahan feromagnetik tanpa medan magnet luar (H) (Callister dan Rethwisch, 2009)

2.2 Struktur Kristal

Tiga jenis struktur kristal yang relatif sederhana dapat dijumpai pada kebanyakan logam, yaitu, kubus pusat ruang (*Body Centered Cubic = BCC*), kubus pusat sisi (*Face Centered Cubic = FCC*), dan heksagonal mampat (*Hexagonal Close Packed = HCP*) (Callister dan Rethwisch, 2009).

2.2.1 *Body Centered Cubic (BCC)*

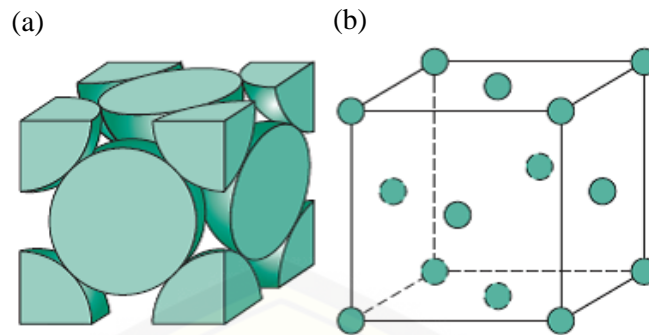
BCC (Body Centered Cubic) merupakan struktur kristal dengan satu atom berada disetiap sudut dan di tengah terdapat satu atom, sehingga jumlah atom dalam satu unit sel terdapat 9 atom. Bilangan koordinasi untuk struktur kristal BCC adalah 8. Contoh bahan yang memiliki struktur kristal BCC adalah Na, Ba, Cr, Fe, Mo, Cs, dan Rb. Struktur kristal BCC dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.4 Struktur kristal BCC (a) jumlah atom tiap unit sel (b) dengan 8 bilangan koordinasi (c) satu unit sel dengan satu atom di tengah dan disetiap sudutnya (Callister dan Rethwisch, 2009)

2.2.2 *Face Centered Cubic (FCC)*

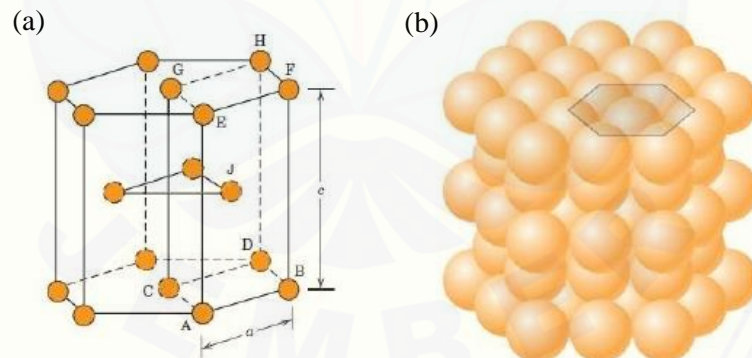
Menurut Callister dan Rethwisch (2009), Gambar 2.5 (b) menunjukkan satu sel dari struktur kristal FCC yang dikelilingi oleh 12 atom dengan bilangan koordinasi sebesar 12. Contoh bahan yang memiliki struktur kristal FCC adalah Al, Ca, Au, Ni, Ag, Sr, Kr, dan Pt. Struktur kristal FCC dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Struktur kristal FCC (a) jumlah atom tiap unit sel (b) dengan 12 bilangan koordinasi (Callister dan Rethwisch, 2009)

2.2.3 Hexagonal Closed Packed (HCP)

HCP (*Hexagonal Close Packed*) adalah struktur kristal dengan satu atom disetiap sudutnya, ditengah sisi atas dan bawah terdapat satu atom dan di tengah heksagonal terdapat tiga atom, sehingga jumlah atom dalam satu unit sel terdapat 17 atom. Bilangan koordinasi untuk struktur kristal HCP adalah 12. Contoh bahan yang memiliki struktur kristal HCP adalah Co, Mg, Zn, Ti, Zr, dan Te. Struktur kristal HCP dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



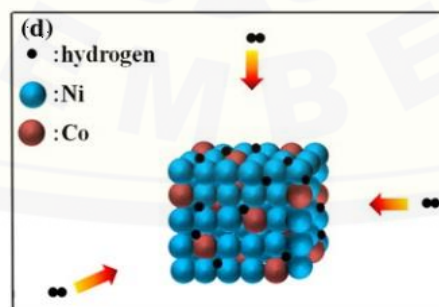
Gambar 2.6 Struktur kristal HCP (a) dengan 12 bilangan koordinasi (b) jumlah atom tiap unit sel (Callister dan Rethwisch, 2009)

2.3 Bahan Paduan CoNi

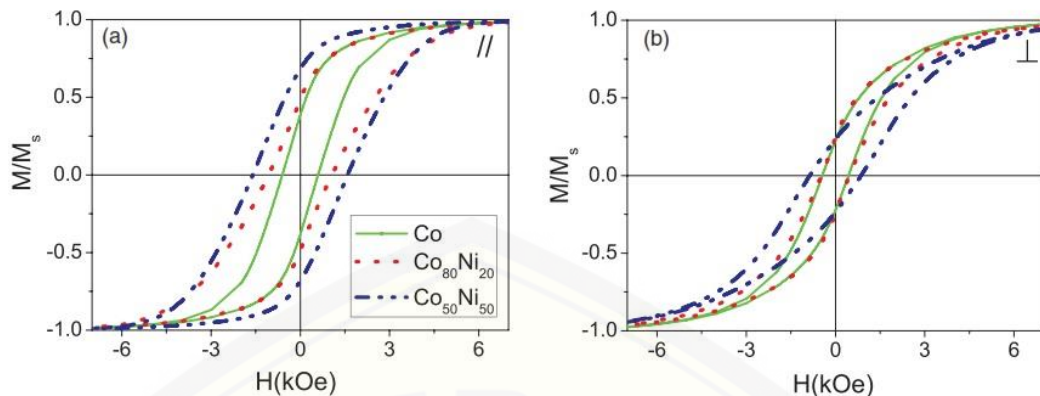
Kobalt (Co) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki struktur kristal HCP. Bahan ini memiliki tekstur kuat dengan nilai magnetik anisotropi tinggi, temperatur Curie yang tinggi serta memiliki koersivitas yang tinggi pula (Ballela,

2008). Parameter – parameter yang dimiliki oleh bahan kobalt (Co) yaitu *atomic spin moment* (μ_s) $1.72 \mu_B$, energi exchange (J_{ij}) 6.064×10^{-21} serta energi anisotropi (K) 6.69×10^{-24} . Sedangkan nikel (Ni) merupakan bahan Ferromagnetik 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 nikel (Ni) yaitu *atomic spin moment* (μ_s) $0.606 \mu_B$, energi exchange (J_{ij}) 2.757×10^{-21} serta energi anisotropi (K) 5.47×10^{-26} (Evans, 2013).

Paduan kobalt dan nikel (CoNi) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki struktur kristal FCC dengan sumbu *easy axis* pada arah (111) (Tang, 2006). Paduan bahan ini memiliki sifat – sifat magnetik yang sangat bagus dengan nilai anisotropi sebesar 8.12×10^{-25} J/atom dan temperatur Curie yang tinggi, yaitu sebesar 953 K pada alloy $\text{Co}_{33}\text{Ni}_{67}$ (Broeder, 1992). Penelitian yang dilakukan secara eksperimen tentang material CoNi sebelumnya yaitu material $\text{Co}_{55}\text{Ni}_{45}$ *nanowires* dengan diameter 8 nm memiliki koersivitas sebesar 132 Oe (Zang *et al*, 2004), $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$ dan $\text{Co}_{75}\text{Ni}_{25}$ *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), $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$ dan $\text{Co}_{80}\text{Ni}_{20}$ *nanowires* dengan diameter 35 nm dan panjangnya 2.5 μm memiliki koersivitas sebesar 1590 Oe dan 1070 Oe (Vivas *et al*, 2012) dan $\text{Co}_{95}\text{Ni}_{0.5}$ alloy *nanowires* dengan diameter 130 nm dan panjang 20 μm memiliki koersivitas sebesar 145 Oe (Vega *et al*, 2012).



Gambar 2.7 Struktur kristal FCC dari bahan $\text{Co}_{20}\text{Ni}_{80}$ dengan pemberian Hidrogen pada material tersebut (Rafique *et al*, 2013).



Gambar 2.8 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).

Kobalt (Co) merupakan bahan feromagnetik yang mempunyai nilai anisotropi yang tinggi, nilai koersivitas magnetik yang tinggi, temperatur Curie yang tinggi dan mempunyai struktur kristal HCP. Sedangkan nikel (Ni) merupakan bahan feromagnetik yang memiliki kriteria yang menyerupai bahan Kobalt (Co) tetapi memiliki struktur kristal FCC, selain itu nikel merupakan bahan feromagnetik yang tahan korosi (Davis, 2000).

Berdasarkan Gambar 2.8 kurva histeresis bahan $\text{Co}_{80}\text{Ni}_{20}$ alloy memiliki nilai anisotropi dan koersivitas magnetic yang tinggi karena bentuk kurva sangat mendekati bentuk kurva bahan Co yang memiliki nilai anisotropi yang tinggi, nilai koersivitas magnetik yang tinggi, temperatur Curie yang tinggi dibandingkan dengan bahan $\text{Co}_{50}\text{Ni}_{50}$ karena komposisi Co yang lebih dominan dibandingkan dengan komposisi Ni. Selain itu, bahan $\text{Co}_{80}\text{Ni}_{20}$ alloy memiliki nilai temperatur yang tinggi berdasarkan penelitian sebelumnya yaitu 1250 K (Arifin, 2016).

Tabel 2.1 Konstanta dari material feromagnetik Fe, Co, Ni dan Gd

	Fe	Co	Ni	Gd	Unit
Crystal structure	Bcc	Hcp	fcc	Hcp	-
Coordinat Number z	8	12	12	12	-
Curie Temperature (T_c)	1043	1388	631	293	K
Atomic spin Moment μ_s	2.22	1.72	0.606	7.63	μ_B
Exchange energy J_{ij}	7.050×10^{-21}	6.064×10^{-21}	2.757×10^{-21}	1.280×10^{-21}	J/link
Anisotropy energy k	5.65×10^{-25}	6.69×10^{-24}	5.47×10^{-26}	5.93×10^{-24}	J/atom

(Sumber: Evans *et al.*, 2013)

Dari Tabel 2.1 diketahui bahwa parameter parameter bahan kobalt (Co) yaitu *atomic spin moment* (μ_s) $1.72 \mu_B$, energi *exchange* (J_{ij}) $6.064 \times 10^{-21} \text{ J/link}$ serta energi anisotropi (K) $6.69 \times 10^{-24} \text{ J/atom}$. Parameter bahan nikel (Ni) dengan *atomic spin moment* (μ_s) $0.606 \mu_B$, energi *exchange* (J_{ij}) $2.757 \times 10^{-21} \text{ J/link}$ serta energi anisotropi (k) $5.47 \times 10^{-26} \text{ J/atom}$.

2.4 Kurva Histerisis

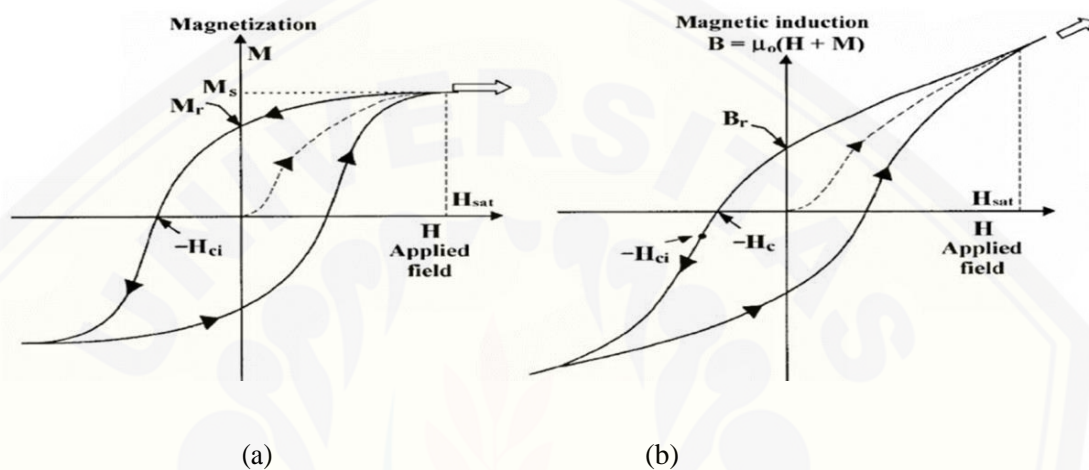
Karakteristik untuk material feromagnetik dapat diamati dari bentuk kurva histerisis, kurva tersebut memetakan hubungan magnetisasi material M dan kuat medan magnet H . Histerisis adalah suatu sifat yang dimiliki oleh sistem yang tidak secara cepat mengikuti gaya yang diberikan kepadanya, tetapi memberikan reaksi secara perlahan atau bahkan tidak kembali pada keadaan awalnya. Selain pemetaan hubungan antara magnetisasi dan kuat medan magnet ada cara lain yang dapat dilakukan yaitu dengan memetakan induksi magnet B terhadap kuat medan magnet H yang berbeda-beda. Gambar 2.9 (a) merupakan kurva histeresis antara M dan H atau antara J ($J = \mu_0 M$) dan H disebut juga dengan kurva histeresis intrinsik. Sedangkan Gambar 2.9 (b) adalah kurva histeresis antara B dan H yang biasanya disebut sebagai kurva histeresis normal. Kedua cara tersebut memberikan informasi yang sama karena antara B , M dan H memenuhi persamaan:

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

Simbol-simbol pada persamaan (2.1) menunjukkan bahwa B adalah induksi magnetik, μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa, H adalah medan magnet dan M adalah magnetisasi (Yani *et al*, 2014).

Dari kurva histeresis Gambar 2.9 dapat diamati bahwa material feromagnetik pada awalnya belum termagnetisasi. Medan magnet H yang diberikan pada material menyebabkan magnetisasi meningkat sebanding dengan medan magnet H . Pertambahan nilai magnetisasi M diakibatkan oleh pergerakan dari domain magnet. Jika besar medan magnet H yang diberikan meningkat terus-menerus, magnetisasi akhirnya akan mencapai keadaan jenuh (saturasi). Besarnya nilai

magnetisasi pada keadaan saturasi ini dikenal sebagai magnetisasi saturasi M_S . Sedangkan besar medan yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan saturasi dikenal sebagai medan saturasi H_{sat} . Pada keadaan ini seluruh momen magnet membentuk domain tunggal yang terorientasi searah dengan medan magnet H yang diberikan.



Gambar 2.9 Kurva histeresis untuk material feromagnetik. (a) M terhadap H : M_r adalah magnetisasi remanen; H_{ci} adalah koersivitas intrinsik; M_S adalah magnetisasi saturasi; (b) B terhadap H : B_r adalah remanen; H_c adalah koersivitas (Yani *et al.*, 1998)

2.5 Temperatur Curie

Menurut Okimustava dan Oktova (2009), temperatur Curie adalah temperatur kritis dimana fase magnetik bertransisi dari konfigurasi struktur magnetik yang teratur menjadi tidak teratur. Pada tahun 2010 dianalisa sifat magnet dan pengaruhnya terhadap temperatur Curie dengan substitusi ion Ti dan Co. Hasil yang diperoleh saat komposisi $x = 2,5$, sifat feromagnetik berubah menjadi paramagnetik dan temperatur Curie (T_c) naik seiring naiknya komposisi substitusi Ti dan Co. Dimana untuk $x=2,5$ dengan temperatur Curie 965 K dan saat komposisi $x = 5$ temperatur Curie menjadi 1003K (Babalola, 2010).

Menurut Sujatmoko (2005), magnetisasi spontan bahan feromagnetik akan hilang jika dipanaskan di atas suhu karakteristik T_c yang dinamakan temperatur Curie. Dimana temperatur Curie memisahkan fase feromagnetik yang susunan

momen magnetiknya teratur pada suhu di bawah T_c dengan fase paramagnetik yang susunan momen magnetiknya tidak teratur pada suhu di atas T_c . Besi (Fe), Nikel (Ni), Kobalt (Co) dan paduannya (*alloy*) merupakan contoh bahan feromagnetik. Spin atomnya terpolarisasi secara spontan tanpa adanya medan magnet luar. Keadaan tersebut terjadi hanya saat temperatur tidak melebihi suatu temperatur transisi. Ketika temperatur di atas temperatur transisi, spin-spin pada bahan menjadi acak dan mengakibatkan keadaannya berubah menjadi fase paramagnetik. Fase ini disebut fase transisi dan temperatur transisi yang disebut temperatur Curie (Sudjatmoko, 2005).

Karakteristik magnetik suatu bahan dipengaruhi oleh temperatur. Ketika temperatur bertambah besar, terjadi peningkatan getaran termal dari atom-atom. Akibatnya, momen-momen magnet yang telah searah dapat berotasi bebas sehingga arahnya acak. Hal ini berakibat penurunan saturasi magnetisasi. Saturasi magnetisasi maksimum pada suhu 0 K, dimana gerak termal minimum. Dengan adanya peningkatan temperatur, saturasi magnetisasi akan menurun secara gradual hingga mencapai nol pada temperatur tertentu. Temperatur ini disebut dengan temperatur Curie. Pada temperatur di atas temperatur Curie, bahan feromagnetik berubah menjadi bahan paramagnetik (Callister dan Rethwisch, 2009).

Arifin (2016) memperoleh nilai temperatur Curie $Co_{0.8}Ni_{0.2}$ *random alloy* dengan struktur kristal FCC adalah 1250 K. Hal ini dikarenakan temperatur Curie akan meningkat seiring meningkatnya komposisi bahan kobalt (Co). Hal ini disebabkan karena bahan kobalt (Co) memiliki nilai medan saturasi yang lebih besar daripada bahan nikel (Ni) (Arifin, 2016).

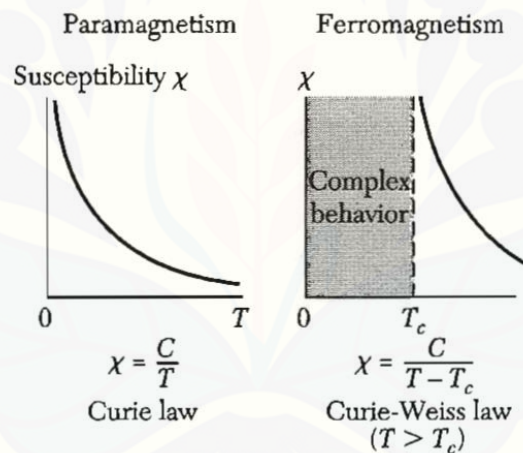
2.6 Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik didefinisikan sebagai perbandingan antara magnetisasi M dengan intensitas magnet H , dimana suseptibilitas magnetik merupakan besaran skalar yang sangat berperan dalam pengelompokan bahan magnetik (Reitz, 1993). Berdasarkan suseptibilitas magnetiknya, bahan magnetik dikelompokkan menjadi bahan diamagnetik, paramagnetik dan feromagnetik. Suseptibilitas magnetik pada bahan diamagnetik bernilai negatif yaitu antara

-10^{-5} hingga -10^{-4} . Pada bahan paramagnetik bernilai positif yaitu antara 10^{-7} hingga 10^{-3} . Sedangkan suseptibilitas magnetik pada bahan feromagnetik bernilai positif dan jauh lebih besar dari satu (Ida, 2004). Menurut Kittel (2005), suseptibilitas magnetik bahan feromagnetik dapat diekspresikan dengan persamaan (2.2).

$$\chi = \frac{C}{T-T_c} \quad (2.2)$$

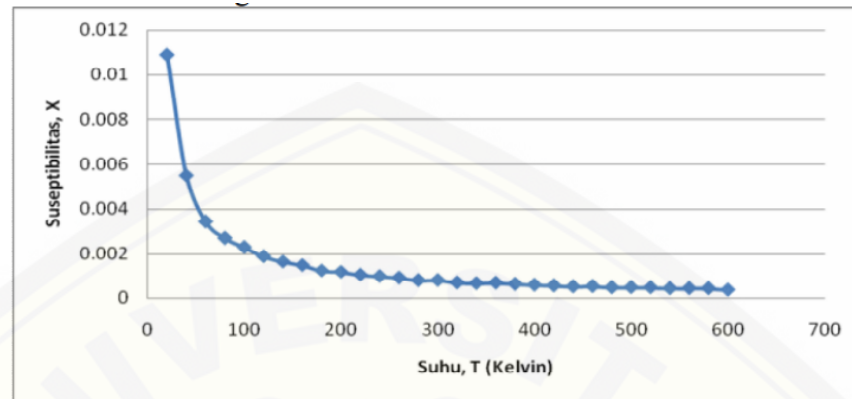
Kittel (2005) mendefinisikan C sebagai konstanta Curie, T sebagai temperatur dan T_c sebagai temperatur Curie. Persamaan ini disebut dengan *Curie-Weiss Law*. Besarnya suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh temperatur. Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan temperatur pada bahan paramagnetik dan feromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan temperatur pada bahan paramagnetik dan feromagnetik (Sumber: Kittel, 2005)

Penelitian tentang analisis sifat-sifat bahan feromagnetik telah dilakukan oleh Mardiansyah pada tahun 2013. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa suseptibilitas magnetik bahan feromagnetik bergantung pada temperatur. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.11. Semakin tinggi temperatur yang diberikan pada bahan feromagnetik menyebabkan nilai suseptibilitas magnetik bahan tersebut semakin kecil. Hal ini disebabkan getaran termal yang dialami oleh atom-atom yang menyusun bahan feromagnetik akan semakin cepat ketika temperatur yang diberikan pada bahan tersebut semakin tinggi, sehingga energi yang dibutuhkan untuk mensejajarkan spin-spin setiap partikel semakin besar. Ketika temperatur

yang diberikan melampaui temperatur Curie, nilai suseptibilitas magnetik yang dimiliki oleh bahan tersebut lebih kecil dari satu (Mardiansyah, 2013).



Gambar 2.11 Grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dan temperatur pada bahan feromagnetik (Sumber: Mardiansyah, 2013)

Berdasarkan persamaan (2.2), berdasarkan relasi *Curie-Weiss* diperoleh nilai tetapan Curie (C) sebesar

$$C = \frac{T_c}{\lambda} \quad (2.3)$$

$$C = \frac{\mu_0 N (g \mu_B)^2}{k_B} \quad (2.4)$$

dimana λ adalah konstanta *Weiss* yang bernilai

$$\lambda = - \frac{k_B T_c}{\mu_0 N (g \mu_B)^2} \quad (2.5)$$

Dengan μ_0 adalah permeabilitas ruang hampa, g adalah faktor *lande* ($g \approx 2$), k_B adalah konstanta Boltzman (1.3807×10^{-23} J/K) dan μ_B adalah konstanta Bohr Magneton (9.2740×10^{-24} J/T) (Anwar, 2011).

2.7 Magnetisasi dan Magnetisasi Ternormalisasi

Magnetisasi adalah sebuah proses ketika sebuah materi yang berada dalam suatu bidang magnetik yang akan menjadi sebuah magnet. Magnetisasi juga didefinisikan sebagai kumpulan dari sejumlah momen dipol magnetik (N) dalam sebuah volume (Christman, 1988). Magnetisasi bahan feromagnetik menunjukkan

seberapa besar suatu bahan dapat dipengaruhi oleh medan magnet luar. Hubungan antara magnetisasi (M), medan magnet luar (H) dan induksi magnetik (B) adalah sebagai berikut (Dalven, 1990):

$$B = H + 4\pi M \quad (2.6)$$

Jika pada bahan feromagnetik diberi medan magnet luar (H), maka bahan tersebut akan termagnetisasi. Nilai magnetisasi akan meningkat apabila nilai medan magnet luar diperbesar, sampai pada keadaan tertentu nilai magnetisasi tidak lagi meningkat sebab kenaikan medan H . Keadaan ini disebut magnetisasi saturasi (M_s). Magnetisasi dikatakan telah ternormalisasi ketika nilai maksimumnya bernilai 1 karena nilai magnetisasi telah dibagi nilai magnetisasi ketika dalam keadaan jenuh atau magnetisasi saturasi (Wibowo, 2011).

2.8 Simulasi Mikromagnetik

Seiring dengan perkembangan kecepatan pemrosesan data oleh komputer, serta dengan kelebihan-kelebihan yang dimiliki, simulasi mikromagnetik dilibatkan untuk mendukung atau melengkapi hasil eksperimen. Salah satu *software* yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi mikromagnetik adalah *Vampire*. *Vampire* merupakan *software* atau perangkat lunak yang kuat, yang mampu mensimulasikan banyak sistem yang berbeda, serta untuk menentukan sifat magnetik dari sistem, misalnya temperatur Curie dan kurva histeresis. *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 bahan sebagai file yang menegaskan tentang parameter dari semua bahan yang digunakan dalam simulasi. Parameter yang diperlukan untuk simulasi menggunakan *software* tersebut adalah konstanta *exchange*, konstanta anisotropi, magnetisasi saturasi dan lain-lain (Evans dan Biternas, 2014).

2.9 Metode Monte Carlo

Metode Monte Carlo adalah metode yang memanfaatkan bilangan acak untuk melakukan simulasi suatu sistem fisika yang dilakukan oleh komputasi yang sulit diselesaikan secara analitik. Metode ini terdiri dari algoritma-algoritma yang

dapat digunakan untuk memvisualisasikan magnetisasi pada suatu bahan (Newmann, 1999). Algoritma Metropolis Monte Carlo adalah cara yang baik untuk mempelajari energi sistem fisik dalam kondisi *equilibrium*. Sifat-sifat *equilibrium* pada bahan magnetik contohnya adalah magnetisasi yang 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 (2.7).

$$\Delta E = E(S'_i) - E(S_i) \quad (2.7)$$

Sehingga probabilitas dari *trial move* dituliskan pada persamaan (2.8).

$$P = \exp\left(-\frac{\Delta E}{k_B T}\right) \quad (2.8)$$

dalam *range* 0 sampai 1 (Evans *et al.*, 2014).

2.10 Metode Heun

Metode Heun merupakan modifikasi dari metode Euler. Metode Euler merupakan salah satu metode satu langkah paling sederhana namun, memiliki ketelitian yang rendah. Pada metode Heun, solusi dari metode Euler dijadikan sebagai solusi perkiraan awal (prediktor), selanjutnya solusi perkiraan awal diperbaiki dengan metode Heun (korektor). Penentuan arah spin S'_i dan medan efektif H'_{eff} dari arah spin S_i dan Δt sebagai perubahan waktu dalam metode Heun mengacu pada metode Euler dengan persamaan :

$$S'_i = S_i + \Delta S \Delta t \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) sebagai *predictor* dalam penentuan posisi arah spin. Dimana ΔS sendiri

$$\Delta S = \frac{\gamma}{(1+\lambda^2)} [S'_i \times H'_{eff} + \lambda S_i (S_i \times H'_{eff})] \quad (2.10)$$

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

$$S_i^{t+\Delta t} = S_i + \frac{1}{2}(\Delta S + \Delta S')\Delta t \quad (2.11)$$

Dimana $\Delta S'$

$$\Delta S' = -\frac{\gamma}{(1+\lambda^2)}[S'_i \times H'_{eff} + \lambda S'_i(S_i \times H'_{eff})] \quad (2.12)$$

Evans mendefinisikan γ sebagai *gyromagnetic ratio*, λ sebagai *microscopic damping* dan H'_{eff} sebagai 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, 2013).

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 1 set perangkat komputer yang terdiri atas layar monitor, CPU, keyboard dan mouse dengan spesifikasi sebagai berikut :

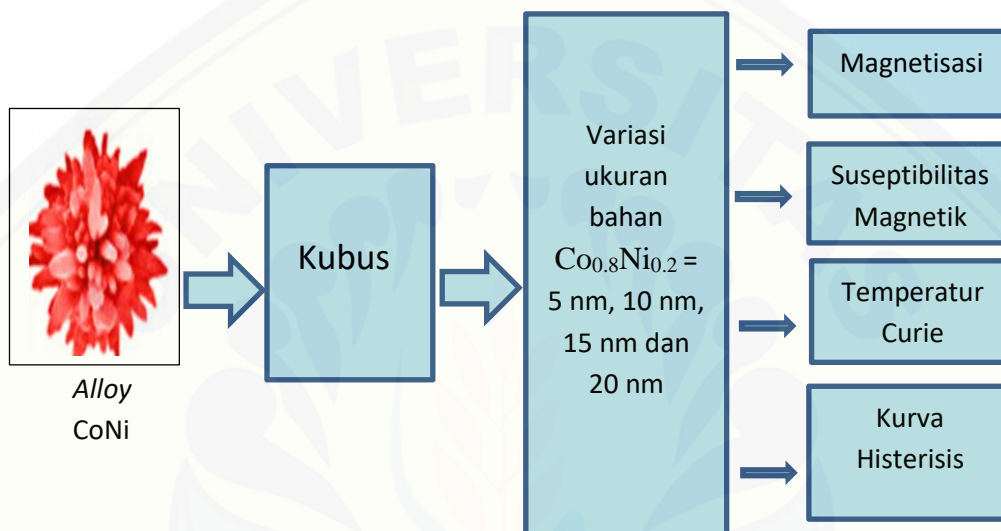
Prosesor	: Intel (R) Core (TM) i5-3470 CPU @ 3.20GHz 3.60GHz
Sistem tipe	: 64 bit
RAM	: 4.00 GB (3.90 GB usable)
Sistem operasi	: windows 10

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) *Povray* digunakan untuk membuat visualisasi struktur domain dalam 3 dimensi.
- 4) *Origin Pro*, berfungsi untuk membuat grafik dari pengolahan data simulasi sebagai pembentuk grafik dengan memplot nilai hasil running yang berupa *file output*.
- 5) *Notepad ++*, berfungsi sebagai program penyusunan *script* dan pengeditan hasil data.

Langkah awal dari penelitian ini yaitu melakukan identifikasi permasalahan tentang kapasitas penyimpanan data. Kemudian melakukan kajian pustaka mengenai cara peningkatan kapasitas penyimpanan data dengan meninjau bahan yang dapat digunakan sebagai bahan untuk pembuatan media penyimpanan data yaitu bahan magnetik. Melalui kajian pustaka ini, peneliti mengumpulkan sumber-sumber data dari kajian kepustakaan, melalui buku, jurnal, skripsi, tesis dan internet dan memperoleh parameter *input*. Selain itu juga dilakukan operasionalisasi pada variabel-variabel yang digunakan. Hal ini dilakukan untuk menunjang proses

simulasi mikromagnetik yang dilaksanakan. Bahan yang dipilih dalam penelitian ini yaitu bahan magnetik $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy*. Setelah simulasi selesai, diperoleh angka-angka yang selanjutnya dianalisis dan ditarik kesimpulan berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan. Proses rancangan penelitian tersebut kemudian dikemas dalam bentuk sebuah karya tulis yang diajukan menjadi tugas akhir peneliti dalam menyelesaikan studi S1.



Gambar 3.1 Desain sederhana simulasi mikromagnetik pada bahan paduan $\text{Co}_{(0.8)}\text{Ni}_{(0.2)}$

Gambar 3.1 merupakan desain sederhana dari penelitian sifat-sifat magnetik melalui simulasi mikromagnetik. Untuk penelitian suseptibilitas magnetik, energi-energi feromagnetik, temperatur Curie dan kurva histerisis dari bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy*, menggunakan bentuk kubus.

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. Data yang ditentukan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Jenis Data yang Digunakan untuk Simulasi Temperatur Curie

Atribut simulasi	Ukuran dan variasi	Satuan
Ukuran sisi kubus partikel	5, 10, 15, 20	Nm
Temperatur	0	K
Komposisi bahan	Co _{0,8} Ni _{0,2}	-

Tabel 3.2 Jenis Data yang Digunakan untuk Simulasi Kurva Histerisis

Atribut simulasi	Ukuran dan variasi	Satuan
Ukuran sisi kubus partikel	5, 10	Nm
Temperatur	0,328,473,900	K
Komposisi bahan	Co _{0,8} Ni _{0,2}	-

Sumber data merupakan subjek dimana data dapat diperoleh. Pada penelitian ini digunakan sumber data primer sebagai berikut :

Tabel 3.3 Sumber Data untuk Simulasi Mikromagnetik

Bahan	$\mu_s (\mu_B)$	J (J/link)	k (J/atom)
Co	¹⁾ 1.72	¹⁾ 6.064 X 10 ⁻²¹	¹⁾ 6.69 X 10 ⁻²⁴
Ni	¹⁾ 0.606	¹⁾ 2.757 X 10 ⁻²¹	¹⁾ 5.47 X 10 ⁻²⁶
CoNi		²⁾ 4.164 X 10 ⁻²¹	³⁾ 8.12 X 10 ⁻²⁵

Sumber: ¹⁾Evans *et al.* (2013), ²⁾Broeder (1992) dan ³⁾Vivas *et al.* (2012)

Data yang diperoleh pada penelitian ini seperti suseptibilitas magnetik, temperatur Curie dan kurva histerisis merupakan hasil simulasi dari data sintetik. Dalam hal ini, yang merupakan data sintetik adalah bentuk kubus, komposisi Co_{0,8}Ni_{0,2} *random alloy*, unit sel 3.524 Å, struktur kristal fcc, input temperatur eksternal dan variasi ukuran sisi partikel. Kemudian data-data hasil yang didapat tersebut digunakan untuk menarik kesimpulan.

3.3 Definisi Operasional Variabel

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

3.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang dapat mempengaruhi variabel terikat.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a) Medan magnet *eksternal* yang digunakan adalah -3 T sampai 3 T dengan interval 0,1.
- b) Temperatur, merupakan ukuran panas dinginnya suatu bahan. Pada penelitian ini temperatur yang digunakan adalah 0 K sampai 1500 K dengan kenaikan setiap 25 K pada simulasi temperatur Curie.
- c) Ukuran bahan merupakan nilai ukuran yang di-*input* pada bahan, skala ukuran yang digunakan yaitu 5 nm, 10 nm, 15 nm dan 20 nm untuk memperoleh nilai temperatur Curie. Skala ukuran yang digunakan untuk memperoleh kurva histerisis adalah 5 nm dan 10 nm.

3.3.2 Variabel Terikat

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

- a) Temperatur Curie (T_c), merupakan temperatur transisi dari bahan yang bersifat feromagnetik menjadi bahan paramagnetik. Temperatur Curie diperoleh dari grafik hubungan temperatur dan magnetisasi.
- b) Suseptibilitas magnetik (χ), merupakan tingkat kerentanan magnet suatu bahan untuk termagnetisasi.
- c) Kurva histerisis, merupakan pemetaan magnetisasi material untuk besar kuat medan magnet yang diberikan. Sifat-sifat dan besaran yang akan dianalisis seperti medan saturasi dan medan koersivitas.
- d) Magnetisasi, merupakan sebuah proses ketika sebuah materi yang di tempatkan dalam suatu bidang magnetic akan menjadi magnet.

3.3.3 Variabel Kontrol

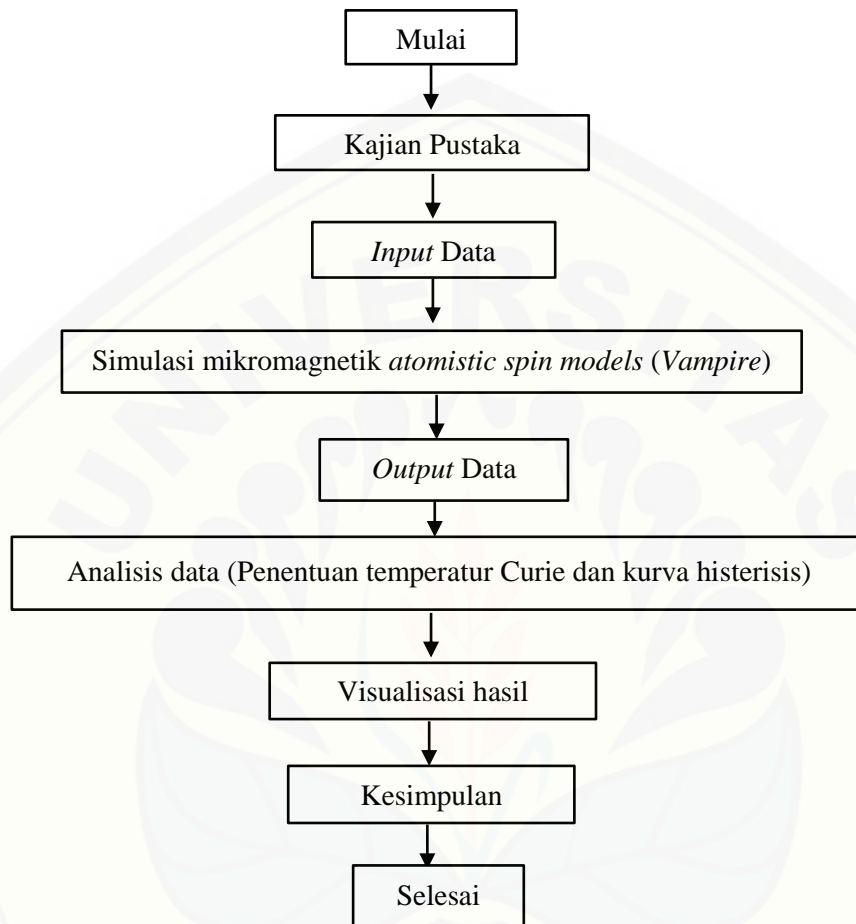
Variabel kontrol merupakan variabel yang dikontrol dan bersifat konstan untuk memperoleh analisa tentang variabel terikat. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- a) Bentuk geometri bahan yaitu kubus.
- b) Unit sel, merupakan bagian terkecil dari *lattice* (susunan tiga dimensi dari titik *lattice* yang identik dengan sekelilingnya). Unit sel dideskripsikan sebagai tiga unit vektor a , b dan c . Dimana unit sel bahan CoNi adalah 3.524 Å .
- c) Struktur kristal bahan yaitu FCC.
- d) Komposisi bahan yang digunakan yaitu $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ *random alloy*.
- e) Temperatur pada simulasi kurva histerisis yang digunakan adalah 0 K, 328 K, 473 K dan 900 K.

3.4 Kerangka Pemecahan Masalah

3.4.1 Diagram Penelitian

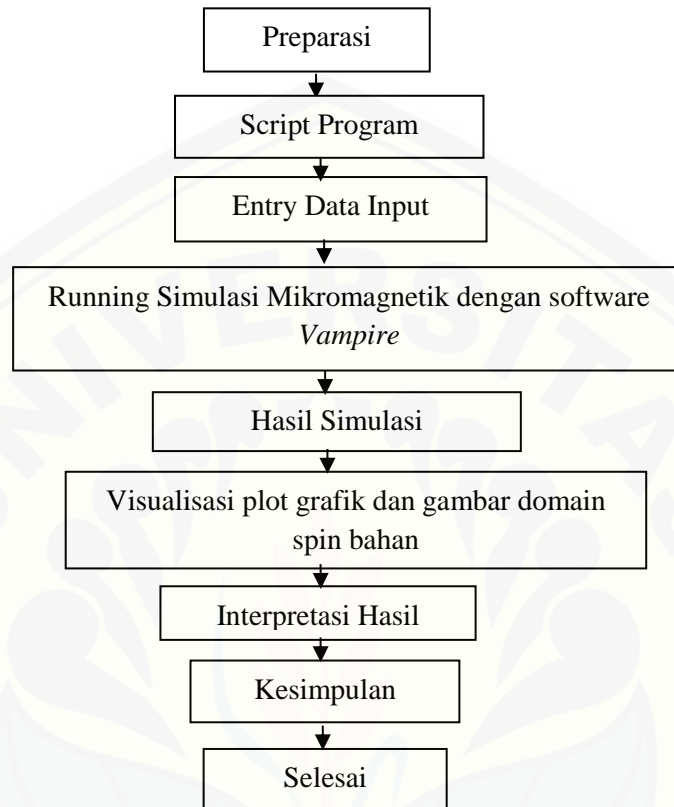
Simulasi penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada diagram di bawah :



Gambar 3.2 Diagram Simulasi Penelitian

Penelitian ini dimulai dari melakukan kajian pustaka untuk mencari parameter bahan CoNi sebagai input data untuk simulasi mikromagnetik. Kemudian file script input diletakkan dalam satu folder dengan program *Vampire*, simulasi mikromagnetik dapat dijalankan dengan program *Vampire* tersebut. Kemudian output data simulasi dapat dianalisis menggunakan plot grafik dan visualisasi gambar spin domain untuk penentuan temperatur Curie dan kurva histerisisnya. Setelah itu ditariklah suatu kesimpulan satu ukuran bahan yang dapat dijadikan bahan dasar pembuatan HDD yang dapat digunakan dengan seefisien mungkin.

3.4.2 Simulasi Mikromagnetik



Gambar 3.3 Diagram Simulasi Mikromagnetik

Simulasi mikromagnetik dilakukan untuk mendapatkan temperatur Curie, suseptibilitas magnetik dan kurva histeresis pada bahan magnetik *alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$. Dalam melakukan simulasi diperlukan *file script input* dan *file script* bahan. *File script input* berisi struktur bahan, unit sel, dan ukuran bahan. Untuk *file script* bahan berisi konstanta *exchange*, konstanta anisotropi, momen spin atom, dan konstanta uniaksial anisotropi. Kemudian semua parameter *input* yang telah disiapkan tersebut diletakkan dalam satu *folder* dengan memasukkan program *Vampire* kedalam *folder* tersebut. Setelah itu, simulasi mikromagnetik dapat dijalankan dengan program *Vampire*. Kemudian *output* simulasi seperti magnetisasi, suseptibilitas magnetik dan kurva histeresis menggunakan program *Origin*. Untuk menentukan temperatur Curie maka perlu melakukan plotting grafik hubungan

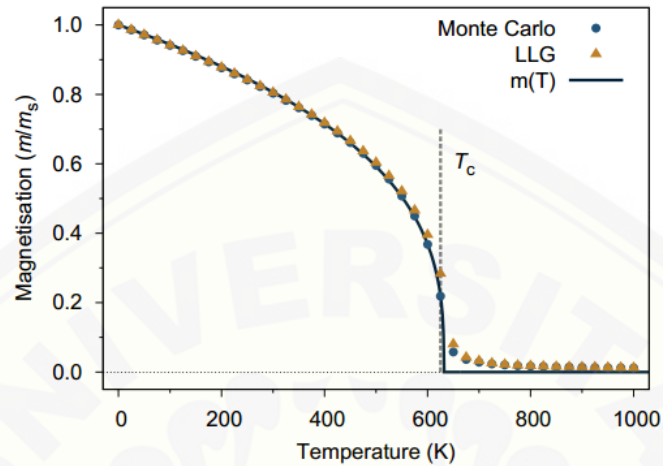
magnetisasi dengan temperatur seperti pada Gambar 3.4. Sedangkan untuk menentukan kurva histerisis diperlukan plotting grafik pemetaan magnetisasi material dengan besar medan magnetnya. Simulasi ini dilakukan pada ukuran bahan sebesar 5 nm, 10 nm, 15 nm dan 20 nm untuk temperatur Curie, 5 nm dan 10 nm untuk kurva histerisis dalam bentuk kubus. Untuk menentukan analisis arah spin domain bahan digunakan software *Povray* dengan merubah terlebih dahulu file output yang dihasilkan dalam bentuk file *cfg* menjadi file *povray* menggunakan software *Cygwin*. Setelah semua hasil diinterpretasikan ditariklah suatu kesimpulan satu ukuran bahan yang memiliki sifat kemagnetan yang baik.

3.5 Metode Analisis Data

3.5.1 Analisis Data Temperatur Curie Bahan *Alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$

Hasil Simulasi penentuan grafik temperatur Curie dianalisis menggunakan program *Origin*. Analisis dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara magnetisasi dengan temperatur. Hal ini dilakukan untuk melihat perubahan magnetisasi terhadap bertambahnya temperatur dari bahan magnetik *alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ berdasarkan variasi ukuran . Contoh grafik penentuan temperatur Curie dapat dilihat pada Gambar 3.3. Penelitian mengenai bahan *alloy* $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ pernah dilakukan oleh (Arifin, 2016) secara simulasi dan menghasilkan temperatur Curie sebesar 1250 K. Hasil simulasi temperatur Curie pada penelitian tersebut dijadikan sebagai hasil pembanding yang disimbolkan dengan $T_{C(P)}$, kemudian dibandingkan dengan penelitian ini yang disimbolkan dengan $T_{C(S)}$. Untuk mengetahui keakurasian hasil penelitian, dapat digunakan persamaan berikut:

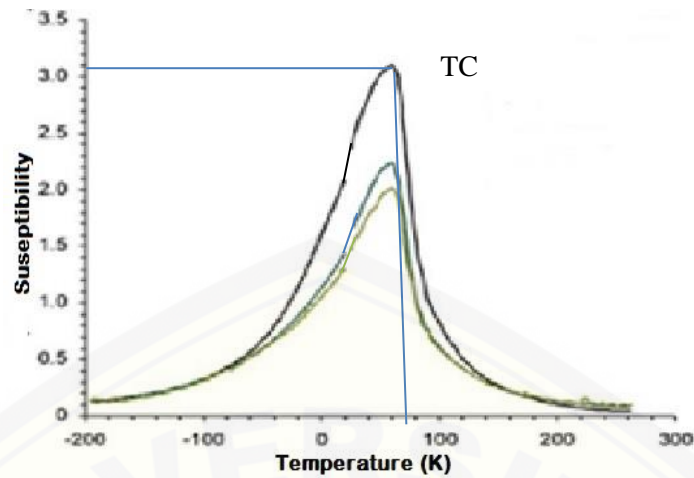
$$\text{keakurasian} = \left(1 - \left(\frac{T_{C(P)} - T_{C(sim)}}{T_{C(P)}} \right) \right) \times 100\% \quad (3.1)$$



Gambar 3.4 Grafik temperatur Curie pada program *Origin* (Evans *et al*, 2013)

3.5.2 Analisis Grafik hubungan Suseptibilitas Magnetik dengan Temperatur

Hasil simulasi mengenai suseptibilitas magnetik dianalisis menggunakan program *Origin*. Analisis dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara suseptibilitas magnetik dengan temperatur. Nilai suseptibilitas magnetik dari hasil penelitian diamati berdasarkan pengaruh perubahan temperatur yaitu antara 0 K sampai 1500 K dengan kenaikan temperatur 25 K. Grafik juga dianalisis berdasarkan variasi ukuran yang telah ditetapkan. Pengamatan dilakukan dengan membandingkan nilai suseptibilitas magnetik pada bahan Co_{0.8}Ni_{0.2} bentuk kubus berdasarkan variasi komposisinya. Dengan mengamati suseptibilitas magnetik diharapkan dapat diketahui pengaruh ukuran partikel terhadap sifat kemagnetan bahan. Dengan demikian diperoleh informasi tentang nilai suseptibilitas magnetik pada masing-masing ukuran yang telah ditetapkan pada bahan Co_{0.8}Ni_{0.2} bentuk kubus.

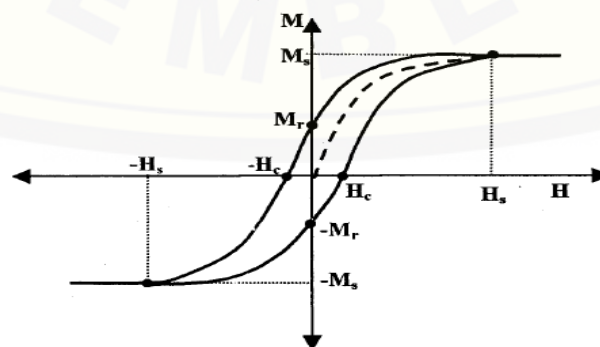


Gambar 3.5 Grafik suseptibilitas magnetik terhadap temperatur (Vahle dan Kontny, 2005)

Dengan adanya grafik suseptibilitas magnetik, temperatur Curie lebih spesifik dapat ditentukan dengan menggabungkan antara grafik suseptibilitas dengan temperatur dan grafik magnetisasi dengan temperatur. Jadi, letak temperatur Curie dapat terlihat lebih jelas pada titik tertinggi suseptibilitas magnetik dan titik terendah magnetisasi.

3.5.3 Analisis Kurva Histerisis

Hasil simulasi untuk pembuatan kurva histerisis dianalisis menggunakan program *Origin*. Analisis akan dilakukan dengan membuat kurva pemetaan antara magnetisasi dan medan magnet. Hal ini dilakukan untuk melihat sifat-sifat dan besaran seperti medan saturasi dan medan koersivitas yang terbentuk dari bahan $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$.



Gambar 3.6 Kurva histerisis (Dunlop dan Ozdemir, 1997)

Karakteristik suatu bahan feromagnetik juga dapat dilihat dari bentuk kurva histerisisnya. Dengan cara meninjau bentuk dan medan koersivitasnya. Jika kurva histerisis berbentuk pipih tau tipis dengan medan koersivitas lebih kecil dari 125 Oe ($H_c = 0.002 - 125Oe$) (Coey, 2009) maka tergolong ke dalam *soft* magnet. Berbanding terbalik dengan material yang tergolong *hard* magnet yaitu dengan bentuk yang lebih lebar atau tebal dan medan koersivitas yang lebih besar dari 125 Oe (Furlani, 2011).

3.5.4 Analisis Hasil Visualisasi Struktur Domain Bahan $Co_{0.8}Ni_{0.2}$

Hasil simulasi dari data berformat *cfg* pada *folder* simulasi dianalisis dengan cara membuat visualisasi bentuk bahan menggunakan program *Povray*. *File output cfg* dikonversi menjadi bentuk *file Povray* dengan menggunakan program *Cygwin*. Visualisasi dibuat dengan mengambil beberapa sampel data dalam tiap komposisi dengan keadaan sebelum mencapai temperatur Curie, saat temperatur Curie dan sesudah temperatur Curie guna mengamati pengaruh perubahan temperatur terhadap struktur domain bahan. Setelah itu dianalisis sifat bahan berdasarkan orientasi struktur domainnya, yang kemudian dapat diketahui bagaimana struktur domain dari bahan $Co_{0.8}Ni_{0.2}$ berdasarkan variasi ukuran pada bentuk kubus.

3.5.5 Analisis Hasil 4 Variabel (temperatur Curie, medan saturasi, medan koersivitas dan magnetisasi remanen) Sifat-sifat Magnetik untuk Mencari Nilai Ukuran Terbaik.

Hasil simulasi yang berupa nilai temperatur Curie, medan saturasi, medan koersivitas, dan magnetisasi remanen dianalisis dengan cara mencari nilai tertinggi pada masing-masing nilai variabel. Analisis ini digunakan untuk mengamati nilai ukuran kritis yang baik digunakan untuk bahan $Co_{0.8}Ni_{0.2}$. Setelah didapatkan nilai ukuran kritis paling baik, hasil penelitian akan dibandingkan dengan referensi ukuran kritis bahan paduan CoNi yang dilakukan berdasarkan eksperimen yang bernilai 10 - 12 nm.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian simulasi mikromagnetik pada material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ random alloy berbagai variasi ukuran partikel maka dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Pengaruh variasi ukuran bahan terhadap nilai temperatur Curie material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ random alloy berdasarkan hasil simulasi akan lebih tinggi saat ukurannya semakin besar, pada variasi ukuran 5 nm diperoleh nilai temperatur Curie 1175 K dan untuk variasi ukuran 10 nm, 15 nm dan 20 nm diperoleh nilai temperatur Curie 1225 K. Pada ukuran 10 nm temperatur Curie sudah mencapai nilai temperatur yang tinggi, hal ini dikarenakan ukuran 10 nm nilainya mendekati nilai ukuran kritis bahan CoNi yang bernilai 8.06 – 9.67.
2. Karakteristik kurva histerisis dari material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ random alloy berdasarkan hasil simulasi memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan perubahan medan koersivitas dan medan saturasinya. Pada variasi ukuran 5 nm medan saturasi dan medan koersivitas mempunyai pola nilai yang menurun karena adanya variasi input suhu. Sedangkan, pada saat variasi ukuran 10 nm perubahan medan saturasi dan medan koersivitas mempunyai pola yang berfluktuasi karena adanya variasi input suhu dan adanya pengaruh ukuran kritis bahan CoNi.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui nilai temperatur Curie, karakteristik kurva histerisis dan struktur domain dari material $\text{Co}_{0.8}\text{Ni}_{0.2}$ random alloy bentuk kubus dengan menggunakan simulasi mikromagnetik. Namun terdapat beberapa hal yang masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut diantaranya adalah menggunakan bentuk *nanosphere* ataupun *nanowire* untuk

mengamati nilai diameter kritisnya. Selain itu juga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan ukuran yang rentangnya lebih kecil dan lebih panjang sehingga diperoleh nilai ukuran yang signifikan sehingga penelitian sifat magnetik dari bahan CoNi akan lebih sempurna.



DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Nurul. 2011. Pembuatan Magnet Permanen Nd₂FeB Melalui Metode Mechanical Alloy. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Arifin, Samsul. 2016. Studi Sifat-Sifat Magnetik Material Ferromagnetik Co_(1-x)Ni_(x) Random Alloy dan Double Layer Dalam Berbagai Komposisi Bahan Co dan Ni. *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Asrofi & Bambang Eka Purnama. 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.
- Babalola, O.A., Alabi, A.B. dan Akomolafe, T. 2010. Mikrostruktural Analysis of Zinc-Clay Cermet Resistor. *Researcher*. 2(3): 48-55.
- Ballela, M.D.L.. 2008. *Synthesis and Characterization of Cobalt Nanoparticles Prepared by Liquid-Phase Reduction*. University Sains Malaysia.
- Billah, A. 2006. Pembuatan Dan Karakterisasi Magnet Stronsium Ferit Dengan Bahan Dasar Pasir Besi. *Skripsi*. Semarang : Universitas Negri Semarang FMIPA.
- Broeder, F.J.A. 1992. Co/Ni Multilayer with Perpendicular Magnetic Anisotropy: Kerr Effect and Thermomagnetic Writing. *Appl. Physic Lett*. 61 (12): 1468-1470.
- Callister, W. D. dan Rethwisch, D. G. 2009. *Materials Science and Engineering An Introduction*. Eighth Edition. New York: John Wiley and Sons.
- Christman, J. R. 1998. *Fundamentals of Solid State Physics*. United States of America: John Wilet and Sons.
- Coey, J. M. D. 2009. *Magnetism and Magnetic of Materials*. New York: Cambridge University Press.
- Dalven, R. 1990. *Introduction to Applied Solid State Physics*. 2nd ed. New York: Plenum Press.

- Davis, J.R.. 2000. *Nickel, Cobalt, and Their Alloy*. Chagrin Falls Ohio : ASM International.
- Dobisz, E.A. 2008. *Patterned media: Nanofabrication challenges of future disk drives. Proceedings of the IEEE*, 96, 11.
- Dunlop, D.J. dan Ozdemir, O. 1997. *Rock Magnetism: Fundamentals and frontiers*. New York : Cambridge University Press.
- Evans, F.L. dan Andreas Biternas. 2014. *Vampire User Manual: Software Version 4.0*. New York: The University of New York.
- Evans, F. L. 2008. Atomistic Modelling of Nanogranular Magnetic Materials. *Tesis*. New York: The University of York
- Evans, F. L., W. J. Fan, P. Churemart, T. A. Ostler, M. O. A. Ellis & R. W. Chantrell. 2013. Atomistic Spin Model Simulations of Magnetic Nanomaterials. *Tesis*. New York: The University of York.
- Furlani, Edward P. 2011. *Permanent Magnet and Electromechanical Device (Material, Analysis, and Application)*. USA : Academic Press.
- Halliday, D. dan Resnick R. 1978. *Fisika 2*. Edisi Ketiga. Diterjemahkan oleh: Silaban, P. dan Sucipto, E. Surabaya: Penerbit Erlangga.
- Ida, N. 2004. *Engineering Electromagnetics Second Edition*. USA: Springer.
- Irayanti, Ervin. 2016. Investigasi Sifat-Sifat Magnetik Material Alloy Ferromagnetik $\text{Fe}_{(1-x)}\text{Pt}_{(x)}$ Menggunakan Simulasi Mikromagnetik dengan Model Atomistik. *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Kittel, Charles. 1996. *Introduction To Solid State Physics Seventh Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Mardiansyah, D. 2013. Analisa sifat feromagnetik material menggunakan metode monte carlo. *Jurnal Ilmiah Edu Research 2*.
- Newmman, M. 1999. *Monte Carlo Method In Statistical Physics*. New York: Oxford University Press.
- Ni'mah, M.A. 2016. Studi Material Alloy Ferromagnetik $\text{Co}_{(1-x)}\text{Fe}_{(x)}$ Model Nanocube Menggunakan Simulasi Mikromagnetik Model Atomistik. *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Okimustava dan Oktova, Raden. 2009. Penentuan Suhu Curie Besi dengan Metode Kawat Berarus Listrik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 5(1): 1-6.

- Puri, R. K dan V. K. Babbar. 2001. *Solid State Physics and Electronics*. New Delhi: S. Chand & Company LTD.
- Rafique, M. Yasir, Liqing Pan, dan M. Zubair Iqbal. 2013. *Fabrication of CoNi alloy hollow-nanostructured microspheres for hydrogen storage application*. Springer : DOI 10.1007/s11051-013-1768-1.
- Reitz, J. 1993. *Foundations of Electromagnetic Theory*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- Rosa, W.O., L.G. Vivas, K.R. Pirota, A. Asenjo, M. Vazquez. 2012. *Influence of aspect ratio and anisotropy distribution in ordered CoNi nanowire array*. *J. Magn Magn Mater* 324:3679-3682.
- Sugiarto, Tresna Dewi, Ismudiati Puri Handayani & Reza Fauzi Iskandar. Analisis dan Simulasi Distribusi Panas pada *Heat Sink Processor CPU* dengan *Comsol Multiphysics*. Teknik Fisika - Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom.
- Sudjatmoko. 2005. Kajian Sifat Bahan Lapisan Tipis Feromagnetik NiFe Hasil Deposisi Dengan Teknik Evaporasi Hampa. *Jurnal Ganendra*. 8 (2): 37-43.
- 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.
- Tang, X.T., Wang, G.C. dan Mutsuhiro. 2006. Magnetic Layer Thicness Dependence of Magnerization reversal in Electrodeposited CoNi/Cu Multilayer Nanowires. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 309(2): 188-196.
- Vahle, C. dan Kontny, A. 2005. The Use of Field Dependence of AC Susceptibility for The Interpretation of Magnetic Mineralogy and Magnetic Fabrics in The HSDP-2 Basalt, Hawai. *Earth and Planetary Science Letters*. 238(1-2): 110-129.
- Vega, V., T. Bohnert, S. Martens, M. Waleczek, J.M. Montero-Moreno, D. Gorlitz, VM. Prida, K. Nielsch. 2012. *Tuning magnetic anisotropy of CoNi nanowires : comparison anodic aluminum oxide membranes*. *Nanotechnology* 23:465709.
- Vivas, L.G., Varquez, M., Escrig, J., Allande, S., Altbir, D., Leitao, D.C. dan Araujo, J.P. 2012. Magnetic Anisotropy in CoNi Nanowaire Arrays: Analytical Calculations and Experiments. *PHYSIC Review*. 85 (3): 3-15.

- Wahyudi, Imam. 2018. Suseptibilitas Magnetik dan Temperatur Curie Material Alloy Ferromagnetik $\text{Co}_{(1-x)}\text{Ni}_{(x)}$ Model Nanocube dan Nanosphere. *Skripsi*. Jember: Universitas Negeri Jember.
- Warsiti. 2005. Studi Pengaruh Suhu Annealing Terhadap Struktur Kristal Dan Magnetoresistansi Permalloy NiFe Hasil Elektrodeposisi. *Skripsi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Weller, D. dan Doerner, M.E. 2000. Extremely High-Density Longitudinal Magnetic Recording Media: *Annual Review of Material Science*, Vol 30: 611-644.
- 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: Universitas Sebelas Maret.
- Yani, Ahmad, Ridwan dan Mujamilah. 2014. Simulasi Histerisis Pada Bahan Ferromagnetik Dengan Model JILES-ATHERTON. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, ISSN: 1411-1098: 85-90.
- Zhang, X.Y., L.H. Xu, J.Y. Dai, H.L.W. Chan. 2004. *Fabrication and magnetic behavior of CoNi nanowire arrays with small diameters. Phy B* 353:187-191.