

**Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$   
Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu**

**TESIS**

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Magister  
Program Studi Ilmu Fisika**



**Oleh**

**B. ANGGIT WICAKSONO  
S911308003**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2015**

**Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$   
Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu**

**TESIS**

**Disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Magister  
Program Studi Ilmu Fisika**



**Oleh**



**B. ANGGIT WICAKSONO  
S911308003**

**PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA  
2015**

**Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$   
Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu**

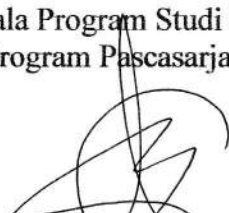
**TESIS**

Oleh  
**B. Anggit Wicaksono**  
S911308003

<b>Komisi Pembimbing</b>	<b>Nama</b>	<b>Tanda Tangan</b>	<b>Tanggal</b>
Pembimbing I.	Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si., M.Si. NIP. 197311092000031001	 .....	05/10 2015 .....
Pembimbing II.	Nuryani, S.Si., M.Si., Ph.D. NIP. 196903032000031001	 .....	05/10 2015 .....

**Telah dinyatakan memenuhi syarat**  
**Pada tanggal 12 - October - 2015**

Kepala Program Studi Ilmu Fisika  
Program Pascasarjana UNS

  
Prof. Drs. Carl, M.Sc., M.A., Ph.D  
NIP. 196103061985031002

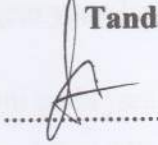
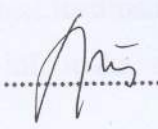
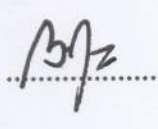
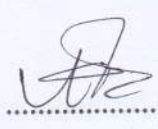
Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$   
Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu

TESIS

Oleh  
B. Anggit Wicaksono  
S911308003

Telah dipertahankan di depan penguji  
Dinyatakan memenuhi syarat  
Pada tanggal 27 Oktober 2015

Tim Penguji :

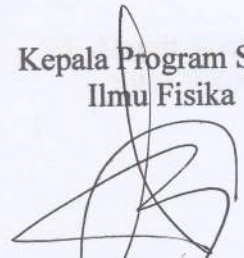
Jabatan	Nama	Tanda Tangan
Ketua	Prof. Drs. Cari, M.Sc., M.A., Ph.D NIP. 19610306 198503 1 002	
Sekretaris	Prof. Dra. Suparmi, M.A., Ph.D NIP. 19520915 197603 2 001	
Anggota Penguji	Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si., M.Si. NIP. 197311092000031001	
Anggota Penguji	Nuryani, S.Si., M.Si., Ph.D. NIP. 196903032000031001	

Mengetahui:

Direktur  
Program Pascasarjana

Kepala Program Studi  
Ilmu Fisika

  
Prof. Dr. Mohammad. Furqon Hidayatullah, M.Pd  
NIP. 19600727198702 1 001

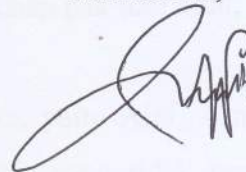
  
Prof. Drs. Cari, M.Sc., M.A., Ph.D  
NIP. 19610306 198503 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN DAN PERSYARATAN PUBLIKASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa:

1. Tesis yang berjudul: “**Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu**” ini adalah karya sendiri dan tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang tertulis dengan acuan yang disebutkan sumbernya, baik dalam naskah karangan dan daftar pustaka. Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi, baik Tesis berserta gelar magister saya dibatalkan serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
2. Publikasi sebagian atau keseluruhan dari isi Tesis ini pada jurnal atau forum ilmiah harus menyertakan tim promotor sebagai *author* dan PPs UNS sebagai institusinya. Apabila saya melakukan pelanggaran dari ketentuan publikasi ini, maka saya bersedia mendapatkan sanksi akademik yang berlaku.

Surakarta, 27 Oktober 2015  
Mahasiswa,



B. Anggit Wicaksono  
S911308003

## MOTTO

*“Sukses dan gagal itu sama,  
mereka tidak memandang kita siapa”  
(Hitam-Putih)*

*“Es ist nicht wenig zeit, die wir haben, sondern es ist viel  
zeit, die wir nicht nutzen.”*

*“Kebahagiaan (kesuksesan) adalah salah satunya yang akan  
bertambah jika orang mau membaginya”  
(Lucius Annaeus Seneca)*

## PERSEMBAHAN

Tesis ini merupakan karya perjuangan yang melelahkan namun penuh ketekunan dan kesabaran, serta doa dan wujud kasih sayang yang tiada tara, tesis ini saya persembahkan untuk :

1. Tuhan Yesus Pemberi pertolongan tanpa batas dan tauladan terhebat. Setiap tititan langkah yang aku lalui tiada daya dan upaya kecuali hanya dengan Pertolongan-Mu.
2. Bapak dan Ibu tercinta (Ign. Ngadimun dan C. Susilowati), terima kasih untuk curahan cinta, do'a, dorongan, dan pengorbanan tiada banding demi perjuangan yang selama ku tempuh.
3. Kakakku pertama (G. Fida Artika), Kakakku kedua (St. Agung Laksono) dan Adikku (R. Ranga Bagaskara) terima kasih untuk dorongan, motivasi, saran dalam hidup, serta yang terpenting curahan kasih sayang untuk mengisi hari-hariku.
4. Adikku terkasih alm Andreas Dwi Fedi, Yosafa L, C. Vilardi, Akhiles T, Arlen, Vista, Skolastika Venita Tiandri yang ingin disebut namanya termanja, dan adikku atau kakakku lainnya yang banyak di sekitarku yang susah disebut namanya satu-persatu.
5. Teman-teman seperjuangan hidup tergokil di apartemen sederhana Evitya yang perlu disebutkan namanya KK, Angga, Nonik Dika Blank, Yth Ipul, Jordan, IRD Yoga, Bambang SH, Heri K, Sinyo vvota, Agun tervvota, Aden, mas Angger, mas Samad, bang Bron, oyon, vidi, dan segenap pak toni club, "terima kasih."
6. Rekan-rekan seperjuangan di Magister Ilmu Fisika, yaitu Alpi, Arni, Asrori, Dyah, pak Sapto dan tak lupa pak Atan dan Ulfa yang tidak pernah lupa memberi semangat dan saran dalam menempuh ilmu.
7. Seseorang wanita yang hanya patut dalam pikiran dan hati selain ibu dan keluarga, hanya untuk bersyukur atas kehadiranmu dalam hidupku, Maria Edistianda Eka Saputri tidak ada habisnya selalu mengerti semua dari aku dalam setiap keadaan.

B. Anggit Wicaksono, S911308003. **Analisis Magneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu.** Tesis. Pembimbing I: Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si., M.Si Pembimbing II: Nuryani, S.Si., M.Si., Ph.D. Program Studi Ilmu Fisika, Program Pascasarjana, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

## ABSTRAK

Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  telah dibuat hasil elektro-deposisi pada substrat kawat Cu. Penelitian ini bertujuan mengkaji hubungan rasio antara MI dengan: (i) frekuensi arus *ac* pengukuran (20 kHz – 100 kHz) (ii) jumlah perulangan N, (iii) ketebalan lapisan konduktif (*spacer*) Cu, dan (iv) bentuk geometri sampel (kawat selenoid dan kawat lurus memanjang).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen fabrikasi elektro-deposisi dengan langkah-langkah sebagai berikut: preparasi, pembuatan larutan elektrolit, elektro-deposisi, karakterisasi sampel, analisis, dan kesimpulan. Sampel multilapisan yang dibuat adalah lapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  dengan  $N = 1, 3$  dan  $5$ . Kemudian variasi ketebalan *spacer* Cu pada multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{ nm})/\text{Cu}(y\text{ nm})]_N$  dengan  $y = 200\text{ nm}, 250\text{ nm}, 300\text{ nm}, 350\text{ nm},$  dan  $400\text{ nm}$ . Variasi bentuk geometri, sampel dibuat dua macam yaitu kawat linear yang dilapisi  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{ nm})/\text{Cu}(300\text{ nm})]_3$  dengan panjang  $3\text{ cm}$  dan sampel kawat *solenoid* sama dengan sampel linear yang dilapisi  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{ nm})/\text{Cu}(300\text{ nm})]_3$ . Sampel tersebut dililit hingga membentuk kumparan dengan diameter  $0,3\text{ cm}$ .

Hasil karakterisasi menunjukkan nilai rasio Magneto-impedansi (MI) semakin besar dengan bertambahnya frekuensi arus *ac* (20 kHz – 100 kHz). Hasil ini konsisten untuk semua sampel multilayer yang telah dihasilkan. Rasio MI juga diperoleh bertambah dengan perulangan jumlah lapisan pada multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{ nm})/\text{Cu}(300\text{ nm})]_N$ . Ekspresi lain modifikasi ketebalan lapisan *spacer* Cu didapat bahwa semakin tebal lapisan *spacer* Cu maka rasio MI semakin kecil. Sedangkan hasil karakterisasi pada variasi bentuk geometri menunjukkan bahwa rasio MI meningkat dengan perubahan geometri sampel, yaitu dari bentuk kawat ke bentuk solenoid. Hasil pengamatan secara keseluruhan menunjukkan bahwa rasio MI tertinggi diperoleh sebesar  $118,26\%$  dan sensitifitas sensor medan magnet tertinggi diperoleh sebesar  $53,75\%/\text{mT}$  untuk sampel yang sama yaitu sampel multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{ nm})/\text{Cu}(200\text{ nm})]_3$ .

Kata kunci: Magnetoimpedansi, Elektrodeposisi, Multilapisan NiFe/Cu, Ketebalan *Spacer* Cu, Jumlah Perulangan NiFe/Cu, Solenoid.



B. Anggit Wicaksono, S911308003. **Magneto-impedance Analysis Multilayer  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} / \text{Cu}]_N$  Is The Results Electrodeposited on Cu Substrate Wire.** Supervisor I: Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si., M.Si Supervisor II: Nuryani, S.Si., M.Si., Ph.D. Graduate Physics Program, Graduate Study, Sebelas Maret University Surakarta.

### ABSTRACT

Multilayers  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  has been resulted electro-deposition on the wire Cu substrate. This study aims to examine the relationship of the ratio of MI to: (i) frequency current *ac* measurement (20 kHz - 100 kHz) (ii) the number iteration N, (iii) the thickness of the conductive layer (spacer) Cu, and (iv) geometry samples (wire solenoid and extends straight wire).

The research method includes the experimental electro-deposition fabrication with stages, as follows: preparation, manufacturing electrolytic solution, electro-deposition, characterization of sample, analysis, and conclusions. Multilayer sample  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  is with  $N = 1, 3$  and  $5$ . Then the thickness of spacer Cu on multilayer  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800 \text{ nm})/\text{Cu} (y \text{ nm})]_3$  variable by  $y = 200 \text{ nm}, 250 \text{ nm}, 300 \text{ nm}, 350 \text{ nm},$  and  $400 \text{ nm}$ . For variations of geometric shapes, the sample is made of two kinds of linear wire by coated  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800 \text{ nm})/ \text{Cu} (300 \text{ nm})]_3$ . The sample is wound up to form a coil with diameter of  $0.3 \text{ cm}$ .

The result showed the ratio MI is greater with increasing frequency of ac current (20 kHz - 100 kHz). These result is consistent for all multilayer samples that have been produced. MI also increases by looping the number of layers in multilayer  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800 \text{ nm})/ \text{Cu} (300 \text{ nm})]_N$ . Another result of spacer Cu modification layer thickness is found that the thicker the Cu spacer layer, the ratio of the smaller MI. While, the sample MI ratio results of the characterization of the variation in the geometry indicates that the ratio of MI change with changes in the geometry of the sample, ie from wire shape to solenoid shape. Overall experimental observations indicates that the ratio of the highest MI is 118.26% and the highest magnetic field sensor sensitivity is 53.75 %/mT for the same sample, namely sample multilayer  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20} (800 \text{ nm}) / \text{Cu} (200 \text{ nm})]_3$ .

Keywords: Magneto-impedance, Electro-deposited, Multilayer NiFe/Cu, Thickness of Spacer Cu, Number of Iteration NiFe/Cu, Solenoid.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang karena atas rahmat-Nya dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul “**Analisis Megneto-impedansi Multilapisan  $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$  Hasil Elektrodeposisi pada Substrat Kawat Cu**”.

Tesis ini ditulis dan disusun dengan tujuan untuk memenuhi syarat dalam meraih derajat megister (S.2) pada Program Studi ilmu Fisika Universitas Sebelas Maret Surakarta. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. M. Furqon Hidayatullah, M.Pd, selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Prof. Drs. Cari, M.A., M.Sc., Ph.D selaku Ketua Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret, sekaligus sebagai Pembimbing Akademik yang memberikan saran serta nasihat selama masa studi penulis.
3. Bapak Dr. Eng. Budi Purnama, S.Si, M.Si selaku dosen pembimbing I yang senantiasa dengan sabar telah memberikan bimbingan, saran, arahan, motivasi dan memberikan dana penelitian kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Bapak Nuryani, S.Si., M.Si., Ph.D selaku dosen pembimbing II yang senantiasa dengan sabar telah memberikan bimbingan, saran, dan arahan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan tesis ini.
5. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Ilmu Fisika Pascasarjana Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan pendidikan dan pengajaran dalam bidang fisika selama penulis menempuh studi.
6. Semua pihak yang penulis tidak bisa sebutkan satu-persatu ikut terlibat dalam penyusunan tesis ini dan memberikan kontribusi dalam menyelesaikan tesis ini.

Semoga dengan bantuan yang diberikan mendapat balasan pahala disisi Tuhan YME dan penulis berharap semoga tesis ini bermanfaat, walaupun penyusunan tesis ini masih banyak terdapat kekurangan, kesalahan dan jauh dari kesempurnaan..

Surakarta, Oktober 2015

B. Anggit Wicaksono

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR PUBLIKASI</b> .....	<b>xx</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	3
D. Tujuan Penelitian .....	4
E. Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Bahan Magnetik .....	5
1. Induksi Magnetik dan Magnetisasi .....	5
2. <i>Hysteresis Loops</i> dalam Ferromagnetik .....	6
3. <i>Domain Wall</i> .....	8
B. Impedansi dan Magnetoimpedansi (MI) .....	9

1. Impedansi pada Konduktor Kawat Magnetik .....	11
2. <i>Skin Effect</i> .....	12
3. Impedansi dalam <i>single layered thin films</i> .....	14
4. Impedansi dalam struktur multilapisan .....	17
C. Elektrodeposisi .....	19
1. Prinsip pelapisan dari Elektrodeposisi .....	19
2. <i>Faraday's laws</i> pada elektrolisis .....	21
3. Elektrolit dalam Elektrodeposisi .....	23

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

A. Tempat dan Waktu Penelitian .....	25
B. Alat dan Bahan Penelitian .....	25
1. Alat yang digunakan dalam penelitian .....	25
2. Bahan yang digunakan dalam penelitian .....	27
C. Metode Penelitian .....	29
1. Preparasi Sampel .....	30
2. Pembuatan Laruan Elektrolit Pembentuk Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> dan Cu .....	31
3. Proses Elektrodeposisi Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> /Cu .....	31
4. Analisa Magneto-impedansi [NiFe/Cu] pada Substrat Cu .....	34

### **BAB IV. PEMBAHASAN**

A. Karakterisasi Magnetoimpedansi (MI) Pengaruh Frekuensi Arus <i>a.c</i> pada Pengukuran MI .....	37
B. Pengaruh Jumlah Pelapisan N dari Multilapisan [Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (800 nm)/Cu(300 nm)] <sub>N</sub> .....	38
C. Pengaruh Ketebalan <i>Spacer</i> Cu <i>y</i> Terhadap MI pada Multilapisan [Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (800 nm)/Cu( <i>y</i> nm)] <sub>3</sub> .....	40
D. Pengaruh bentuk geometri terhadap rasio MI pada multilapisan [Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub> (800 nm)/Cu(300 nm)] <sub>3</sub> .....	41
E. Performa Sensor Magneto-impedansi .....	43

**BAB V. PENUTUPAN**

A. Kesimpulan .....	45
B. Saran .....	45

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>47</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>51</b>
-----------------------	-----------

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	<i>Hysterisis loop</i> untuk ferromagnetik (spaldin, 2010) .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	(a) Skema <i>domain</i> dalam bahan ferromagnetik atau ferrimagnetik (b) perubahan bertahap dalam orientasi dipol magnet di dinding <i>domain</i> (Callister, 2007) .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Efek dari penerapan medan pada struktur <i>domain</i> yang disederhanakan: Rotasi pada <i>domain</i> megnetisasi dari awal hingga akhir (Ripka, 2001) .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Impedansi saat medan eksternal maksimum $Z(H_{max})$ dan Impedansi maksimum $Z_{max}$ (Phan & Peng, 2008) .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	$\Delta H$ pada grafik rasio MI (Phan & Peng, 2008) .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Definisi dari impedansi (Phan & Peng, 2008) .....	12
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Circumferential magnetization</i> pada lapisan magnetik dan <i>longitudinal magnetization</i> di dalam inti kaawat (Makhnovskiy & Panina, 2005) .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Ilustrasi konfigurasi <i>single-layer</i> .....	15
<b>Gambar 2.9</b>	(a). Ketergantungan medan magnet eksternal $H_{dc}$ terhadap <i>skin depth</i> $\delta_m$ dan permeabilitas reversibel $\mu_r$ (b). Pandangan skematis dari perubahan $\delta_m$ dengan $H_{dc}$ untuk kawat dan lapisan tipis.....	16
<b>Gambar 2.10</b>	(a) Ilustrasi struktur <i>domain</i> pada konfigurasi <i>multilayer</i> (b) ilustrasi <i>multilayer</i> secara umum (c) tampang Lintang dari struktur <i>multilayer</i> (Borge, 2005; Panina &Makhnovskiy, 2003) .....	17
<b>Gambar 2.11</b>	Skema pelaksanaan pelapisan logam secara listrik (Suarsana, 2008) .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian.....	29
<b>Gambar 3.2</b>	Skema preparasi sampel kawat tembaga	

	( Hanafi, 2013) .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	Ilustrasi <i>multilayer</i> $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ <b>(a)</b> pada konfigurasi <i>wire</i> (sampel A) <b>(b)</b> pada konfigurasi <i>solenoid</i> (sampel B) .....	30
<b>Gambar 3.4</b>	Skema proses elektro-deposisi <b>(a)</b> NiFe dan <b>(b)</b> Cu (Atalay <i>et al.</i> , 2006) .....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Ilustrasi multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Cu}]_N$ hasil elektro-deposisi pada substrat kawat Cu .....	33
<b>Gambar 3.6</b>	Skema analisis magneto-impedansi kawat tembaga yang dilapisi lapisan tipis NiFe/Cu/NiFe (Hanafi, 2013) .....	34
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik impedansi listrik total $Z$ sebagai fungsi medan magnet $H$ atau dikenal sebagai kurva magneto-impedansi (MI) untuk multilapisan $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}(300 \text{ nm})]_3$ pada frekuensi pengukuran 100 kHz .....	36
<b>Gambar 4.2</b>	<b>(a)</b> Tipikal kurva MI sebagai fungsi medan magnet untuk variasi frekuensi arus <i>a.c</i> dan <b>(b)</b> Kurva nisbah MI sebagai fungsi frekuensi pada substrat kawat Cu $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}(300 \text{ nm})]_3$ .....	37
<b>Gambar 4.3</b>	<b>(a)</b> Tipikal kurva MI sebagai fungsi medan magnet untuk variasi $N$ <b>(b)</b> Hubungan nisbah MI dengan $N$ untuk substrat kawat Cu $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800\text{nm})/\text{Cu}(300\text{nm})]_N$ $N = 1, 3$ dan $5$ , diukur pada frekuensi 100 kHz .....	39
<b>Gambar 4.4</b>	<b>4.6. (a)</b> Tipikal kurva MI sampel lapisan tipis $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}(y \text{ nm})]_3$ sebagai fungsi medan magnet untuk variasi ketebalan Cu frekuensi 100 kHz <b>(b)</b> Grafik nisbah/rasio MI variasi ketebalan Cu frekuensi 20 kHz dan 100 kHz .....	40
<b>Gambar 4.5</b>	<b>(a)</b> Tipikal kurva MI sebagai fungsi medan magnet pada <i>wire</i> dan <i>solenoid</i> $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}(300 \text{ nm})]_3$ pada frekuensi <i>a.c</i> 100 kHz <b>(b)</b> Hubungan nisbah MI dengan frekuensi untuk substrat <i>wire</i> Cu dan <i>solenoid</i> $[\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}(800 \text{ nm})/\text{Cu}(300 \text{ nm})]_3$ .....	42

## DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

### Daftar Singkatan

MI	Magneto-impedansi
GMI	<i>Giant Magneto-impedance</i>
Pt	Platina
GMR	<i>Giant Magneto-resistance</i>
Ni	<i>Nickel</i>
Fe	<i>Ferro / besi</i>
Pt	<i>Platina</i>
pH	Derajat keasaman larutan
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	<i>Copper sulfat</i>
$NiSO_4 \cdot 6H_2O$	<i>Nickel sulfat</i>
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	<i>Ferro sulfat</i>
$H_3BO_4$	<i>Asam boraks</i>
$H_2SO_4$	<i>Asam sulfat</i>
$C_8H_8O_3$	<i>Vanilin</i>

### Daftar Simbol

Z	Impedansi
$Z(H)$	Impedansi pada saat penerapan medan magnet $H$
$Z(H_{max})$	Impedansi yang terukur pada penerapan $H_{max}$
$\Delta Z$	Perubahan impedansi
$Z_0$	Impedansi awal
$f$	Frekuensi
$N$	Jumlah perulangan lapisan
<b>B</b>	Induksi magnetik (vektor)
<b>H</b>	Medan Magnet (vektor)
$\mu$	Permeabilitas magnetik



$\mu_0$	Permeabilitas magnetik pada ruang bebas
$\mu_\phi$	Permeabilitas circumferensial pada kasus konduktor kawat
$\mu_T$	Permeabilitas <i>transverse</i>
<b>m</b>	Moment magnetik individual
<b>M</b>	Magnetisasi pada medium
$T_c$	Batas suhu atau temperatur terendah
$R$	Resistansi
$X$	Reaktansi
$H$	Medan magnet eksternal
$H_{\max}$	Medan magnet luar maksimum
$\Delta H$	Lebar penuh pada setengah maksimum kurva magneto-impedansi
$\xi$	Sensitifitas sensor magneto-impedansi
$L$	Induktansi
$V_{ac}$	Tegangan sinusoida yang diperoleh antara ujung-ujung konduktor
$I_{ac}$	Arus Sinusoida yang mengalir pada konduktor
$\omega$	frekuensi <i>circular</i>
$E_z$	Komponen longitudinal dari medan listrik
$J_z$	Komponen longitudinal dari rapat arus
$R_{dc}$	Resistansi <i>dc</i> pada kawat silinder
$R_m$	Resistansi <i>dc</i> pada multilapisan
$R_T$	Resistansi <i>dc</i> pada <i>single-layer</i>
$S$	Nilai saat di penampang ( <i>surface</i> )
$\langle \dots \rangle_q$	Nilai rata-rata pada penampang lintang $q$
$\rho$	Resistivitas
$l$	Panjang konduktor
$h_z$	Medan magnet <i>ac</i> dari komponen axial
$h_\phi$	<i>Circumferential</i> dari medan magnet <i>ac</i>
$J_0, J_1$	Fungsi Bessel untuk jenis yang pertama
$\alpha$	Jari-jari dari kawat konduktor magnetik
$2a$	Ketebalan dari pita konduktor magnetik

$\delta_m$	Kedalaman penetrasi dari medan magnet terhadap konduktor magnetik
$c$	Kecepatan cahaya
$\sigma$	Konduktivitas listrik
F	Lapisan magnetik
M	Lapisan Konduktif
$\Phi$	Jumlah total <i>transverse magnetic flux</i> yang dihasilkan oleh arus <i>ac</i> ketika mengalir pada lapisan magnetik
$\hat{\mu}$	Permeabilitas tensor <i>ac</i>
$Q_e(c)$	Muatan listrik per elektron
$Q(c)$	Total muatan katodik yang digunakan dalam deposisi
$m$	Jumlah mol gram logam yang dideposisi
$n$	Jumlah elektron yang mengambil peran dalam pengurangan atau reduksi
$N_A$	Bilangan <i>Avogadro</i> (jumlah atom dalam mol)
$F$	Konstanta <i>Faraday</i>
$I$	Kuat arus
$t$	Waktu deposisi
$W$	Berat deposisi yang dideposisi pada metal
$M_w$	Massa atom yang dideposisi pada metal
$\rho$	Densitas dari logam
$A$	Luas daerah pada deposisi
$T$	Ketebalan lapisan yang terbentuk
$M_s$	(pada pembahasan)

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b>	Perhitungan Sensitifitas Medan Sensor Magneto-impedansi (MI).....	51
<b>Lampiran 2</b>	Jadwal Penelitian.....	55

## DAFTAR PUBLIKASI

- Publikasi 1** Seminar Nasional Fisika HFI DIY JATENG 2015 (Prosiding)
- Publikasi 2** Seminar Nasional Fisika Universitas Jember 2015 (Prosiding Abstrak)
- Publikasi 3** Seminar Nasional Fisika dan Pembelajaran Universitas Negeri Malang 2015 (Prosiding)