

KAJIAN SIFAT BAHAN LAPISAN TIPIS FEROMAGNETIK $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ HASIL DEPOSISI DENGAN TEKNIK EVAPORASI HAMPA

Sudjatmoko

Puslitbang Teknologi Maju – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb, Yogyakarta 55281

ABSTRAK

KAJIAN SIFAT BAHAN LAPISAN TIPIS FEROMAGNETIK $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ HASIL DEPOSISI DENGAN TEKNIK EVAPORASI HAMPA. Telah dilakukan kajian sifat bahan lapisan tipis feromagnetik $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ hasil deposisi dengan teknik evaporasi hampa. Kajian sifat bahan meliputi analisis komposisi bahan menggunakan metode XRF, resistivitas bahan lapisan tipis pada suhu kamar, dan transisi fase bahan lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$. Hasil analisis dengan metode XRF diketahui bahwa komposisi lapisan yang terbentuk pada permukaan substrat relatif sama dengan komposisi bulk material yang dievaporasikan. Pengukuran resistivitas dengan metode probe empat titik menunjukkan bahwa nilai resistivitas tergantung pada ketebalan dan komposisi bahan, serta resistivitas yang diperoleh jauh lebih besar dibandingkan dengan resistivitas bulk material. Suhu transisi atau suhu Curie T_c yang diperoleh memperlihatkan ketergantungannya terhadap komposisi bahan.

Kata Kunci : lapisan tipis feromagnetik, evaporasi hampa, resistivitas, transisi fase, suhu Curie

ABSTRACT

THE STUDY OF $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ THIN FILM MATERIAL PROPERTIES PRODUCED BY VACUUM EVAPORATION DEPOSITION TECHNIQUES. The study of $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ ferromagnetic thin film properties produced by using vacuum evaporation deposition techniques has been done. The study of thin film material properties covers the analysis of material composition by using XRF method, resistivity of thin film material at the room temperature, and phase transition of $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ thin film material. The results of XRF analysis shows that the composition of deposited thin film on the substrate was same with the composition of evaporated bulk material. The resistivity measurements of thin film material by using four point probe method justify their thickness and composition dependence, and the values of resistivity obtained were larger than the resistivity of bulk material. The transition temperature or Curie temperature T_c of the sample obtained by observing the curve resistant versus temperature firmly indicate the dependence of material composition.

Key Words : ferromagnetic thin film, vacuum evaporation, resistivity, phase transition, Curie, temperature

PENDAHULUAN

Salah satu bahan padat yang banyak dimanfaatkan dalam kehidupan manusia sehari-hari adalah bahan feromagnetik. Dalam bahan feromagnetik ini magnetisasi terjadi secara spontan tanpa kehadiran medan magnet luar. Ada beberapa bahan yang termasuk dalam golongan ini, antara lain adalah besi (Fe), nikel (Ni), cobalt (Co) dan paduannya seperti yang terbentuk dalam paduan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ dan $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}$. Paduan logam $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tersebut merupakan salah satu contoh paduan yang dibuat untuk memperbaiki sifat magnetik bahan dengan tingkatan mutu yang beragam. Masing-masing tingkatan mutu tersebut berbeda dalam komposisi dan perlakuan pemanasannya (*heat treatment*) untuk memperoleh sifat-sifat bahan feromagnetik yang sesuai dengan keperluan atau pemanfaatannya. Pada saat ini bahan feromagnetik dapat dijumpai dalam berbagai produk peralatan rumah tangga, elektronika, peralatan komunikasi, kendaraan bermotor, piranti pemroses dan penyimpanan data, dan lain- lainnya.

Hingga saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan oleh para peneliti untuk memperoleh bahan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ dengan sifat magnetik yang lebih unggul. Salah satu hasil penelitian tersebut adalah bahan feromagnetik dengan komposisi 31,4% Ni ($x = 0,314$) setelah dianalisis mempunyai nilai permeabilitas yang lebih besar daripada permeabilitas besi murni. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa untuk paduan dengan x sekitar 0,35 suhu Curie (T_c) bahan feromagnetik berada di sekitar 300 °C^[1]. Dalam keadaan ini berarti bahan tersebut telah mengalami transisi fase menjadi bahan paramagnetik di atas suhu 300 °C, meskipun bahan tersusun dari unsur-unsur yang memiliki suhu Curie 354,2 °C untuk Ni dan 770 °C untuk Fe^[2]. Gejala transisi dari fase feromagnetik

ke fase paramagnetik dapat diamati misalnya dengan mengukur nilai resistivitas bahan tersebut sebagai fungsi suhu. Berdasarkan metode ini, kurve grafik resistivitas ρ terhadap suhu T memperlihatkan perubahan *slope* karakteristik $\rho(T)$ di sekitar $T = T_c$ dan dengan demikian dapat ditentukan suhu transisi T_c dari bahan feromagnetik tersebut. Beberapa sifat bahan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tersebut adalah paduan dalam bentuk *bulk material* dengan komposisi tertentu.

Selain penelitian-penelitian tersebut di atas juga telah dilakukan beberapa penelitian yang mengkaji sifat-sifat paduan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ dalam bentuk bahan lapisan tipis (*thin film material*)^[3,4,5]. Akan tetapi penelitian-penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti tersebut belum melakukan kajian gejala transisi fase bahan lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ dengan melakukan pengukuran nilai resistivitas atau resistansi bahan. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan kajian tentang pengaruh komposisi x terhadap resistivitas bahan feromagnetik $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ pada suhu kamar, penentuan suhu Curie dan eksponen kritis serta kaitannya dengan komposisi dan ketebalan lapisan tipis yang mengalami transisi fase feromagnetik-paramagnetik. Bahan lapisan tipis fero-magnetik $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ didepositkan pada substrat kaca pyrex menggunakan metode evaporasi hampa (*vacuum evaporation*). Pemilihan metode deposisi ini berdasarkan pada pertimbangan bahwa titik lebur bahan Ni adalah 1.455°C dan bahan Fe sebesar 1.535°C dapat dilakukan menggunakan peralatan yang tersedia di P3TM – BATAN. Diharapkan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diketahui kaitan antara komposisi x , nilai resistivitas, suhu Curie dan fase transisi bahan lapisan tipis feromagnetik $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$. Dengan demikian informasi hasil penelitian tentang sifat-sifat bahan lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ yang diperoleh dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam fabrikasi agar sesuai dengan keperluan, misalnya sebagai bahan dasar pembuatan sensor magnet, pelindung magnetik (*magnetic shielding*) atau komponen sistem *bubbles memory* dalam industri mikroelektronika.

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Bahan dan Peralatan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa jenis bahan yang diperlukan yaitu serbuk Ni (BA = 58,71 g/mol) dan Fe (BA = 55,85 g/mol), masing-masing dengan kemurnian 99,5% dan ukuran butirnya kurang dari $10\ \mu\text{m}$, sedangkan sebagai bahan substrat adalah kaca pyrex dengan titik lebur 977°C . Selain bahan-bahan tersebut juga diperlukan bahan-bahan lainnya, yaitu bahan pembersih substrat berupa deterjen, alkohol dan *tissue*; gas nitrogen, kawat tungsten sebagai filamen pemanas, *silver paint* dan kawat serta lempeng tembaga sebagai bahan elektrode.

Berbagai peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca (Nilai Skala Terkecil $0,0001\ \text{g}$) sebagai alat penimbang serbuk Ni dan Fe; *mixer* sebagai pengocok agar campuran kedua bahan Ni dan Fe menjadi homogen; alat press bentuk silinder berdiameter sekitar $1\ \text{cm}$ yang digunakan untuk membentuk bahan menjadi lempeng atau pelet, alat ini dilengkapi dengan pompa hampa agar bahan yang dipress tidak teroksidasi; peralatan evaporasi hampa yang digunakan untuk mendeposisikan bahan lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$; sistem pemanas substrat yang dilengkapi dengan termokopel tipe K (Chromel-Allumel dengan batas ukur 1.400°C); sistem hampa yang digunakan untuk menghampakan ruangan sistem evaporasi; serta catu-daya AC yang digunakan untuk memijarkan filamen dan keluaran alat ini dapat divariasi dalam interval $0 - 240\ \text{volt}$.

Penyiapan Substrat

Sebagai bahan substrat adalah kaca dari bahan pyrex berukuran $10\ \text{mm} \times 25\ \text{mm}$. Sebelum proses deposisi, substrat terlebih dulu dibersihkan terhadap kontaminasi bahan-bahan yang tidak dikehendaki. Pembersihan substrat dilakukan dengan air bersih dan deterjen, kemudian dimasukkan ke dalam *ultrasonic cleaner* selama 30 menit dalam alkohol, selanjutnya dikeringkan dengan *hair dryer* dan setelah kering dibungkus dengan *tissue* dan dimasukkan dalam plastik klip.

Penyiapan Pelet dan Proses Deposisi

Komposisi paduan sebagai pelet yang disiapkan meliputi semua nilai x (dalam jumlah atom), termasuk Ni dan Fe murni ($x = 0$ dan $x = 1$). Setelah penimbangan sesuai dengan perbandingan yang diinginkan, kedua bahan dicampur sampai merata menggunakan *mixer* yang dioperasikan selama 30 menit. Bahan yang telah

tercampur dipress dalam tabung silinder berdiameter 10 mm dengan tekanan 16 ton. Selama proses pengepresan, tabung silinder dihampakan untuk mencegah terjadinya oksidasi.

Deposisi bahan lapisan tipis untuk semua komposisi dilakukan dengan menggunakan peralatan evaporasi hampa. Bejana evaporasi dihampakan menggunakan sistem hampa yang terdiri dari pompa rotari dan pompa difusi hingga mencapai tingkat kehampaan 10^{-4} torr. Suhu substrat dipasang pada suhu 300°C setiap proses deposisi, dan catu daya filamen untuk pemanas pelet dioperasikan pada tegangan 140 volt hingga semua pelet terevaporasi dan terdeposisi pada permukaan cuplikan/substrat kaca. Untuk satu evaporasi dipasang tiga buah substrat pada posisi yang berbeda.

Pengujian dan Karakterisasi

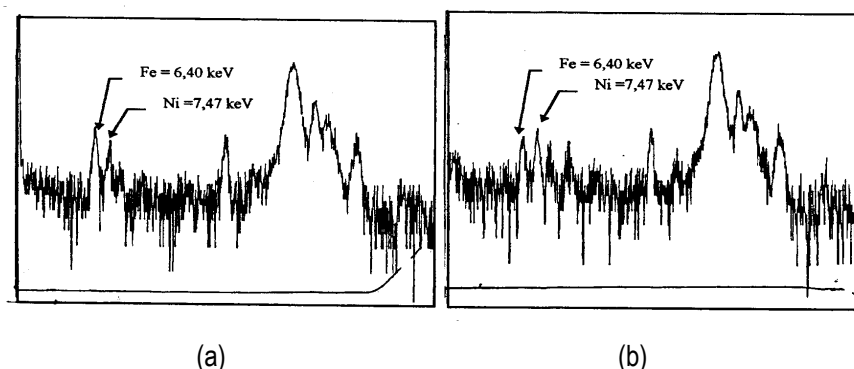
Untuk mengetahui komposisi cuplikan hasil proses deposisi dilakukan pengujian dengan menggunakan perangkat XRF (*X-ray Fluorescence*) yang bekerja berdasarkan prinsip *energy dispersive*. Alat ini menggunakan sumber eksitasi Cd-109 dan waktu pencacahan selama 300 detik untuk setiap cuplikan.

Metode yang digunakan untuk menentukan resistivitas pada suhu kamar adalah metode probe empat titik (*four point probe*). Keuntungan metode ini adalah tidak merusak cuplikan dan dapat bekerja dengan cepat. Probe alat ini terbuat dari batang logam yang berjarak sama satu dengan lainnya dan segaris, dua probe bagian luar dihubungkan dengan sumber arus dan amperemeter, sedangkan dua probe lainnya dihubungkan dengan voltmeter.

Dalam proses penentuan suhu Curie cuplikan dilakukan pengukuran resistansi pada suhu yang divariasi, dan variasi suhu dilakukan dengan menggunakan *tube furnace*. Untuk memperoleh suhu yang akurat pada cuplikan digunakan termometer digital yang termokopelnya diletakkan menempel pada permukaan cuplikan. Selama proses pengukuran berlangsung, gas nitrogen dialirkan ke dalam *tube furnace* dengan kelajuan sekitar 1 liter/menit untuk mencegah terjadinya oksidasi pada seluruh sistem kerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui komposisi lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ yang terbentuk pada permukaan substrat kaca dilakukan analisis dengan perangkat XRF. Hasil yang diperoleh dari metode ini adalah grafik karakteristik hubungan antara intensitas (jumlah cacah) dengan energi sinar-X (dalam keV). Penentuan komposisi cuplikan dilakukan dengan cara membandingkan jumlah cacahan antara bahan Ni dan bahan Fe. Contoh grafik hasil analisis XRF ditampilkan pada Gambar 1.a. dan 1.b., sedangkan hasil analisis masing-masing cuplikan disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Grafik hasil analisis *X-ray Fluorescence*. (a) Untuk cuplikan dengan $x = 32,0\%$, (b) Untuk cuplikan dengan $x = 65,9\%$.

Hasil perhitungan komposisi cuplikan dari analisis XRF memperlihatkan bahwa untuk satu kali deposisi pada tiga buah substrat, ketiga lapisan tipis yang terbentuk mempunyai komposisi yang cenderung sama antara satu dengan lainnya. Data tersebut menunjukkan bahwa komposisi lapisan tidak tergantung pada tebal lapisan,

dan ketebalan hanya mempengaruhi jumlah cacahan tetapi tidak mempengaruhi komposisi unsur. Berdasarkan data-data pada Tabel 1 dapat dinyatakan bahwa komposisi lapisan yang terbentuk relatif sama dengan komposisi pelet yang dievaporasikan (*bulk material*). Kesamaan komposisi tersebut kemungkinan disebabkan oleh perlakuan yang diberikan pada *bulk material*, yaitu pada saat pengepresan dengan beban 16 ton setelah bahan Ni dan Fe tercampur secara homogen. Proses ini memungkinkan terbentuknya paduan antara Ni dengan Fe, dan pada saat dievaporasikan atom-atom bahan bukan merupakan atom tunggal menuju fase uap; atau dengan kata lain bahwa uap dari kedua bahan telah berbentuk paduan dengan perbandingan komposisi yang tetap sebelum dan sesudah terdeposisi pada permukaan substrat.

Tabel 1. Hasil analisis komposisi NiFe dengan metode XRF.

No.	Komposisi Bulk (%)		Komposisi Lapisan (%)	
	Ni	Fe	Ni	Fe
1.	18	82	$18,0 \pm 0,2$	$82,0 \pm 0,2$
2.	23	77	$23,0 \pm 0,1$	$77,0 \pm 0,1$
3.	35	65	$35,2 \pm 0,2$	$64,8 \pm 0,2$
4.	45	55	$45,1 \pm 0,2$	$54,9 \pm 0,2$
5.	49	51	$48,7 \pm 0,3$	$51,3 \pm 0,3$
6.	66	34	$65,9 \pm 0,2$	$34,1 \pm 0,2$
7.	84	16	$83,9 \pm 0,3$	$16,1 \pm 0,3$
8.	93	7	$93,2 \pm 0,1$	$6,8 \pm 0,1$

Tabel 2. Hasil pengukuran nilai resistivitas cuplikan pada suhu kamar.

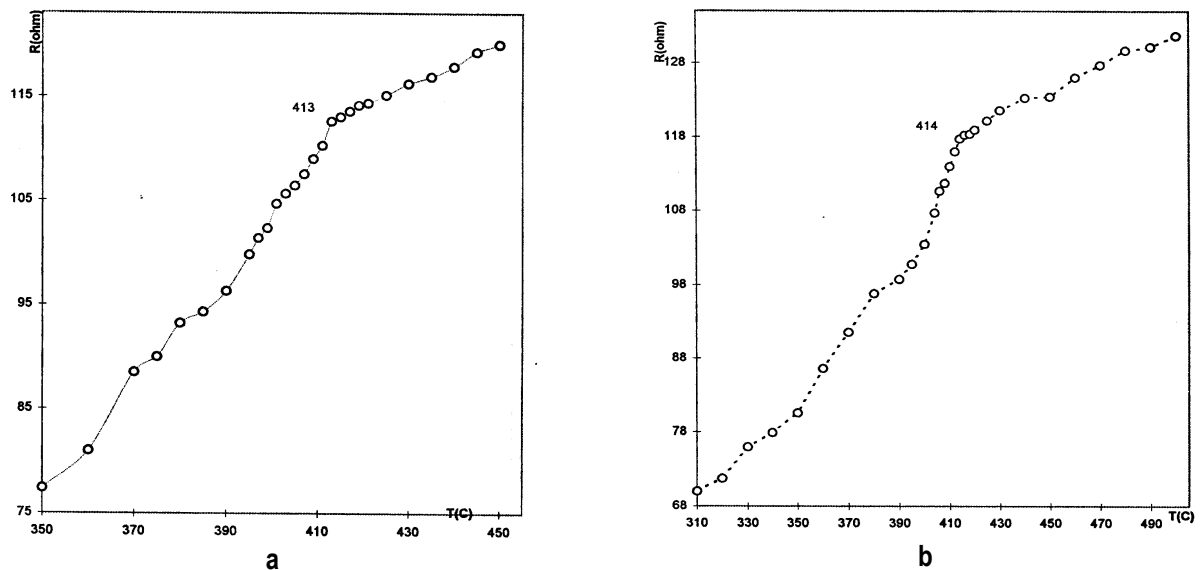
No.	x (%)	Tebal d ($\times 10^{-6}$ cm)	Resistivitas ($\times 10^{-5}$ ohm.cm)
1.	18,0	$48,56 \pm 0,97$	$48,0 \pm 1,6$
2.	23,0	$48,57 \pm 0,97$	$49,3 \pm 1,0$
3.	35,2	$48,48 \pm 0,97$	$50,8 \pm 1,1$
4.	45,1	$48,51 \pm 0,97$	$47,5 \pm 1,1$
5.	48,7	$48,58 \pm 0,97$	$47,3 \pm 0,9$
6.	65,9	$48,60 \pm 0,97$	$46,1 \pm 0,9$
7.	83,9	$48,57 \pm 0,97$	$45,9 \pm 1,0$
8.	93,2	$48,59 \pm 0,97$	$41,6 \pm 0,9$

Dalam penelitian yang dilakukan, resistivitas cuplikan pada suhu kamar ditentukan menggunakan metode probe empat titik. Berdasarkan hasil pengukuran tegangan dan arus serta perhitungan ketebalan lapisan, maka resistivitas masing-masing cuplikan dapat diketahui dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 tersebut dapat dilihat bahwa resistivitas lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tergantung pada komposisi x cuplikan. Untuk cuplikan yang mempunyai komposisi berbeda dan ketebalan yang relatif sama mempunyai nilai resistivitas yang cenderung berbeda. Nilai resistivitas lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan resistivitas $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ *bulk* yang dihasilkan oleh Smithells (1967)⁽⁶⁾. Nilai resistivitas $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ *bulk* tersebut hanya berkisar $1,38 \times 10^{-5}$ hingga $8,33 \times 10^{-5}$ ohm.cm.

Perbedaan nilai resistivitas $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ *bulk* dengan lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tersebut di atas dapat dijelaskan sebagai berikut. Resistivitas lapisan tipis timbul dari tiga mekanisme hamburan: pertama yang berhubungan dengan hamburan *bulk* (fonon, impuritas dan cacat-cacat titik, serta elektron s-d pada logam transisi), kedua berhubungan dengan permukaan lapisan, dan ketiga berhubungan dengan hamburan yang terjadi pada batas butir (*grain boundary scattering*). Secara matematis ketiga jenis hamburan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut,

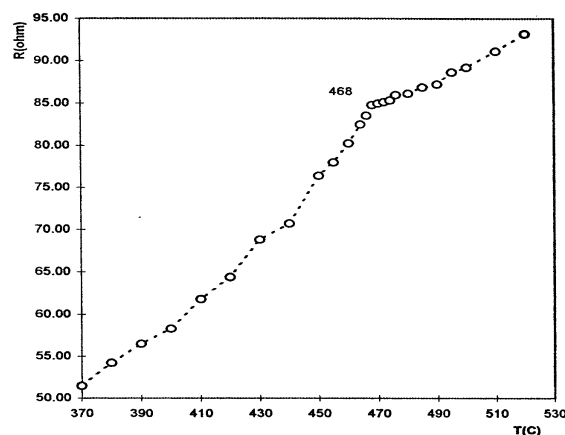
$$\rho = (\rho_{ph} + \rho_g + \rho_{mag}) + \rho_s + \rho_{gb}$$

dengan ρ_{ph} berkaitan dengan getaran kisi-kisi kristal (interaksi fonon), ρ_g berhubungan dengan hamburan karena impuritas dan cacat-cacat struktur geometri, ρ_{mag} berkaitan dengan hamburan ekstra dari elektron-elektron pita s yang terhambur ke dalam pita d yang belum terisi penuh, ρ_s adalah komponen resistivitas yang berhubungan dengan hamburan permukaan, dan ρ_{gb} adalah resistivitas lapisan akibat adanya hamburan batas butir. Faktor hamburan permukaan memberikan andil terhadap besarnya resistivitas ρ_s yang ditandai dengan meningkatnya resistivitas jika lapisan semakin tipis. Faktor lain yang menyebabkan besarnya resistivitas adalah adanya hamburan yang terjadi pada batas butir. Batas-batas butir dapat berperan sebagai penghambur elektron yang efektif dan dalam hal ini berperilaku seperti antarmuka lapisan. Ukuran butir yang lebih kecil daripada lintasan bebas rata-rata elektron memberikan sumbangan terhadap resistivitas lapisan ρ_{gb} akibat adanya hamburan batas butir. Dengan demikian nilai ρ_s dan ρ_{gb} menyebabkan lapisan tipis jauh lebih besar dibandingkan dengan resistivitas untuk *bulk material*^[7].



Gambar 2. Grafik resistansi lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ sebagai fungsi suhu. (a) Cuplikan dengan komposisi $x = 18,0\%$, (b) Cuplikan dengan komposisi $x = 35,2\%$.

Suhu Curie T_c cuplikan ditentukan dengan mengamati karakteristik kurve hubungan resistansi (R) sebagai fungsi suhu (T) untuk T di atas suhu Debye atom Ni dan Fe. Grafik tersebut memperlihatkan perubahan kemiringan (*slope*) pada suhu tertentu (T_c) yang memisahkan fase feromagnetik ($T < T_c$) dengan fase paramagnetik ($T > T_c$).

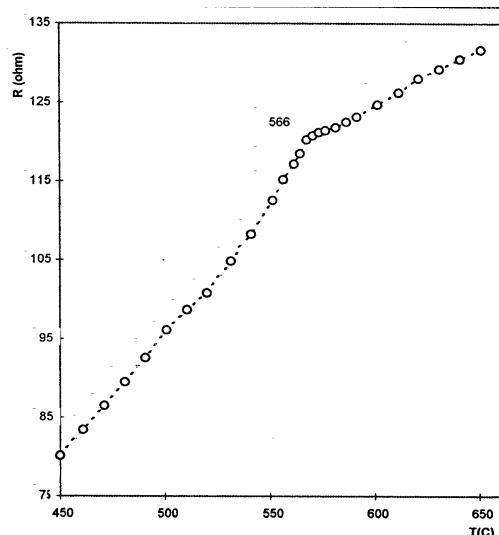


Gambar 3. Grafik resistansi lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ sebagai fungsi suhu untuk cuplikan dengan komposisi $x = 45,1\%$.

Pada Gambar 2a ditampilkan grafik resistensi sebagai fungsi suhu untuk komposisi $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ untuk $x = 18\%$, dan Gambar 2b untuk komposisi $x = 35,2\%$. Berdasarkan grafik tersebut dapat diamati bahwa karakteristik kurve memperlihatkan perubahan kemiringan pada $T = 413^\circ\text{C}$ dan $T = 414^\circ\text{C}$, sehingga suhu transisi atau suhu Curie masing-masing cuplikan tersebut adalah 413°C dan 414°C . Pada Gambar 3 dapat dilihat grafik resistensi sebagai fungsi suhu untuk komposisi $x = 45,1\%$. Berdasarkan grafik pada Gambar 3 tersebut, suhu Curie dari cuplikan adalah 468°C . Demikian juga pada Gambar 4 yang menyajikan grafik resistensi cuplikan sebagai fungsi suhu untuk komposisi $x = 81,1\%$ suhu Curie cuplikan sebesar 566°C . Suhu Curie cuplikan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ untuk berbagai nilai komposisi x disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Suhu Curie cuplikan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ untuk beberapa komposisi.

No.	Komposisi $x(\%)$	Suhu Curie $T_c (^\circ\text{C})$
1.	18,0	413
2.	23,0	410
3.	35,2	414
4.	45,1	468
5.	48,7	525
6.	81,1	566
7.	83,9	539
8.	93,2	462



Gambar 4. Grafik resistansi lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ sebagai fungsi suhu untuk cuplikan dengan komposisi $x = 81,1\%$.

Bahan feromagnetik adalah zat padat yang telah memiliki magnetisasi spontan tanpa pemberian medan magnet luar. Keberadaan feromagnetisme tersebut karena keteraturan momen magnet atom individual. Magnetisasi spontan bahan feromagnetik akan hilang jika dipanaskan di atas suhu karakteristik T_c yang dinamakan suhu Curie. Suhu Curie ini 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). Berdasarkan pengukuran nilai resistansi sebagai fungsi suhu seperti ditampilkan pada Gambar 2 sampai 4 di atas dapat digunakan untuk menentukan suhu Curie bahan feromagnetik $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$, dan besarnya suhu Curie untuk beberapa nilai komposisi disajikan dalam Tabel 3. Dari tabel tersebut suhu Curie dipengaruhi oleh nilai komposisi. Nilai suhu Curie yang rendah pada $0,18 < x < 0,45$ dan suhu Curie yang tinggi terjadi pada $0,50 < x < 0,84$. Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan Lyman^[9] dapat dikatakan tidak berbeda jauh, dimana Lyman memperoleh suhu Curie rendah pada nilai komposisi $0,10 < x \leq 0,40$ dan suhu Curie tinggi pada nilai komposisi $0,60 \leq x \leq 0,70$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan tersebut di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil analisis dengan menggunakan metode XRF menunjukkan bahwa cuplikan lapisan tipis yang dideposisikan dengan teknik evaporasi hampa merupakan paduan $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ dengan struktur kristal tergantung pada komposisi bahan tersebut. Komposisi lapisan tipis yang terbentuk relatif sama dengan komposisi *bulk material* yang dievaporasikan.
2. Nilai resistivitas lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ pada suhu kamar tergantung pada komposisi dan ketebalan cuplikan. Nilai resistivitas lapisan tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ tersebut jauh lebih besar jika dibandingkan dengan resistivitas $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ *bulk* karena adanya komponen resistivitas yang berhubungan dengan hamburan permukaan (ρ_s) dan komponen resistivitas yang terkait dengan hamburan yang terjadi pada batas butir (ρ_{gb}).
3. Suhu Curie (T_c) cuplikan dapat ditentukan dengan mengamati karakteristik kurve hubungan resistansi sebagai fungsi suhu. Nilai suhu Curie yang rendah pada $0,18 < x < 0,45$ dan suhu Curie yang tinggi terjadi pada $0,50 < x < 0,84$, dan besarnya suhu Curie dipengaruhi oleh nilai komposisi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang tulus kepada Sdr. Jusman Mansyur^[9], mahasiswa S-2 Program Studi Ilmu Fisika, Jurusan Ilmu-ilmu Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada yang telah membantu melakukan eksperimen, pengambilan dan analisis data untuk penelitian ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Sdr. Sumarmo dan Sdr. Irianto yang telah membantu pelaksanaan eksperimen. Semoga budi baik Saudara sekalian mendapat balasan dari Allah SWT.

PUSTAKA

1. BRAILSFORD, F., *Magnetic Materials*, Methun and Co. Ltd., London (1954).
2. KITTEL, C., *Introduction to Solid State Physics*, 6th Edition, John Wiley & Sons, Inc., USA (1986).
3. VERDERBER, R.R., *Texture of Evaporated NiFe Thin Films*, J. App. Phys, Vol. 30, No. 9, (1959) 1359 – 1363.
4. SEGMULLER, A., *Annealing Behavior and Temperature Dependence of Magnetic Properties of Thin Permalloy Films*, J. App. Phys., Vol. 32, No. 3, (1961) 89S – 90S.
5. MAYADAS, A.F., JANAK, J.F., AND GANGULEE, A., *Resistivity of Permalloy Thin Films*, J. App. Phys., Vol. 45, No. 6, (1974) 2780 -2781.
6. SMITHELLS, *Metals Reference Book*, 4th Edition, Vol. 3, Butherworths, London (1967).
7. MARPAUNG, N., *Kajian Transisi Fase Bahan Feromagnetik Melalui Pengamatan Resistivitas Listrik Sebagai Fungsi Suhu*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Gajah Mada, Yogyakarta (1997).
8. LYMAN, T., *Metals Handbook*, 8th Edition, Vol. 8, American Society for Metals, Ohio (1973).
9. YUSMAN MANSYUR, *Analisis Struktur Mikroskopis, Resistivitas dan Transisi Fase Lapisan Tipis $\text{Ni}_x\text{Fe}_{1-x}$ Hasil Deposisi Evaporasi Vakum*, Tesis, Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (1999).