

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH SUHU *ANNEALING* TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL DAN MAGNETORESISTANSI
PERMALLOY NiFe HASIL ELEKTRODEPOSISI**

WARSITI

M 0201010



**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret
Surakarta
2005**

SKRIPSI
STUDI PENGARUH SUHU *ANNEALING* TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL DAN MAGNETORESISTANSI
PERMALLOY NiFe HASIL ELEKTRODEPOSISI

Warsiti
M 0201010

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana Sains
pada jurusan Fisika



Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret
Surakarta
2005

SKRIPSI

**STUDI PENGARUH SUHU ANNEALING TERHADAP
STRUKTUR KRISTAL DAN MAGNETORESISTANSI
PERMALLOY NiFe HASIL ELEKTRODEPOSISI**

**Warsiti
M 0201010**

Dinyatakan lulus ujian skripsi oleh tim penguji
Pada hari Sabtu tanggal 1 Oktober 2005

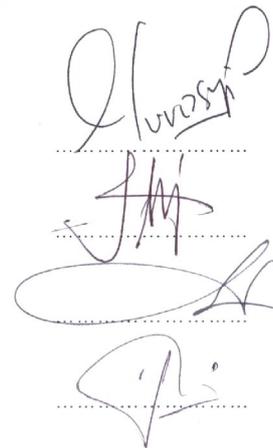
Tim Penguji

Fahru Nurosyid, S.Si., M.Si
NIP. 132 257 922

Yofentina Iriani, S.Si., M.Si
NIP. 132 162 025

Drs. Harjana, M.Si., Ph.D
NIP. 131 570 309

Drs. Usman Santosa, M.S
NIP. 130 515 926



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains



**Dekan
FMIPA UNS**
Drs. H. Marsusi, M.S
NIP. 130 906 776



**Ketua Jurusan Fisika
FMIPA UNS**
Drs. Harjana, M.Si., Ph.D
NIP. 131570309

PERNYATAAN

STUDI PENGARUH SUHU *ANNEALING* TERHADAP STRUKTUR KRISTAL DAN MAGNETORESISTANSI *PERMALLOY* NiFe HASIL ELEKTRODEPOSISI

Oleh

Warsiti

M 0201010

“Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi ini adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terima kasih.”

Surakarta, 1 Oktober 2005

Warsiti

MOTTO

Ia membuat segala sesuatu indah pada waktunya, bahkan Ia memberi kekekalan dalam hati mereka. (Ams 3:11a)

Tetapi carilah dahulu Kerajaan Allah dan kebenarannya, maka semuanya itu akan ditambahkan kepadamu. (Mat 6:33)

Sebab Aku ini mengetahui rancangan-rancangan apa yang ada pada-Ku mengenai kamu, demikianlah firman Tuhan, yaitu rancangan damai sejahtera dan bukan rancangan kecelakaan untuk memberikan kepadamu hari depan yang penuh harapan. (Yer 29:11)

Siapa yang mengejar kebenaran dan kasih akan memperoleh kehidupan, kebenaran dan kehormatan. (Ams 21:21)

Dia memberi kekuatan kepada yang lelah dan menambah semangat kepada yang tiada berdaya, tetapi orang-orang yang menanti-nantikan Tuhan akan mendapat kekuatan baru: mereka seumpama rajawali yang naik terbang dengan kekuatan sayapnya; mereka berlari dan tidak menjadi lesu, mereka berjalan dan tidak menjadi lelah. (Yes 40:29,31)

Janganlah takut sebab Aku menyertai engkau, janganlah bimbang sebab Aku ini Allahmu; aku akan meneguhkan, bahkan akan menolong engkau; Aku akan memegang engkau dengan tangan kanan-Ku yang memberi kemenangan. (Yes 41:10)

PERSEMBAHAN

Karya yang sederhana ini adalah anugrah Tuhan dan aku persembahkan untuk:

1. *Jesus Christ the Almighty God. Segala puji dan syukur, hormat dan kemuliaan hanya bagi Dia. Pribadi yang selalu setia dan mengasihiku, menerima aku apa adanya dan membuat diriku merasa berharga.*
2. *Ayah dan ibu yang selalu menyayangi aku, mendidikku dan senantiasa memberi rasa nyaman dalam hidupku.*
3. *Kakakku "Kris Wahyudi" dan adikku "Nata" you are my good brothers walaupun kadang membuat aku jengkel.*
4. *Everyone who love me now and future.*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah mencurahkan berkat dan kasihNya sehingga skripsi yang berjudul “ **Studi Pengaruh Suhu *Annealing* Terhadap Struktur Kristal Dan Magnetoresistansi *Permalloy* NiFe Hasil Elektrodeposisi**” dapat diselesaikan dengan baik. Dalam kesempatan ini penulis banyak mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi, di antaranya:

1. Bapak Marsusi selaku Dekan FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Harjana selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA
3. Pak Fahru dan Bu Yofent selaku pembimbing tugas akhir yang telah mendampingi selama penelitian dan penulisan skripsi sehingga skripsi ini dapat selesai.
4. Bapak Fuad selaku pembimbing akademik yang telah memberikan pengarahan dalam mengambil setiap mata kuliah.
5. Mami Yanti dan Pak Arifin yang telah menjaga dan menyayangi selama di Solo.
6. Untuk my special brother Christiari, kakakku Antok, mas Yudhi makasih banget buat perhatian dan kasih sayang kalian. Makasih dah dengerin setiap curhatku. Moga kalian gak bosan punya ade' yang manja kaya aku.
7. Buat Zazuk sahabatku thanks ya buat semua yang telah kita lalui. Kapan nich kita jalan lagi keliling Solo kaya dulu? Buat Umi dua-duane, Widya, Eni,

Mami, Susi n temen-temen 2001 semua yang selalu bareng-bareng dalam kuliah, thanks buat kebersamaannya.

8. Untuk Riza, Farida, Mbak Irma teman perjuangan dalam mengambil data. Buat Ida jangan nangis lagi yah, kan semua dah selesai.
9. Buat Mas Eko, Mas Ari, Mas Mul, Mas Sus terima kasih buat semua bantuannya di lab. Terima kasih juga dah mau ngobrol dan berbagi cerita ketika aku sedang boring.
10. Buat Mas Ari Nusa, Ito dan semua yang dah antar jemput aku selama kuliah terima kasih buat tumpangannya.
11. Buat teman-teman PMK terima kasih buat persaudaraan yang telah diberikan . Tetap setia melayani Tuhan dan jangan menyerah.
12. Rental Syukur yang telah menyediakan tempat dan komputer untuk aku ngetik.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Hanya Tuhan yang dapat membalas kalian semua.

“Tiada gading yang tak retak” penulis pun sadar bahwa masih banyak kekurangan dalam skripsi ini, oleh karena itu semua kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk menambah kualitas dari skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini bermanfaat bagi setiap orang yang membacanya.

Surakarta, Oktober 2005

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN.....	iii
MOTTO.....	iv
PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
INTISARI.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	3
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Tujuan.....	3
I.5. Manfaat.....	4
BAB II. DASAR TEORI	
II.1. Elektrodeposisi.....	5
II.2. Material Magnetik	
II.2.1. Diamagnetik.....	7
II.2.2. Paramagnetik.....	8
II.2.3. Ferromagnetik.....	9
II.3. Di.fraksi Sinar-X.....	12
II.4. Cacat Kristal	
II.4.1. Cacat Titik.....	15
II.4.2. Dislokasi.....	16
II.5. <i>Annealing</i>	
II.5.1. Pemulihan.....	18
II.5.2. Rekristalisasi.....	19
II.5.3. Pertumbuhan Butir.....	21
II.6. Magnetoresistansi.....	21
BAB III. METODE PENELITIAN	
III.1. Alat dan Bahan	
III.1. Alat.....	22
III.2. Bahan.....	23

III.2. Prosedur Penelitian	
III.2.1. Pembuatan Substrat.....	24
III.2.2. Elektrodeposisi.....	24
III.2.3. <i>Annealing</i>	25
III.2.4. Karakteristik	
III.2.4.1. Diffraksi Sinar-X.....	26
III.2.4.2. Magnetoresistansi.....	26
 BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1. Analisis Diffraksi Sinar-X.....	29
IV.2. Magnetoresistansi.....	33
 BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1. Kesimpulan.....	38
V.2. Saran.....	38
 DAFTAR PUSTAKA	
 LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema pendeposisian ion logam dengan teknik elektrodeposisi	5
Gambar 2.2. Momen magnetik material diamagnetik	7
Gambar 2.3. Orientasi momen magnetik bahan paramagnetik	8
Gambar 2.4. Struktur domain dalam material ferromagnetik	9
Gambar 2.5. Kurva histerisis	11
Gambar 2.6. Difraksi sinar-X kristal kubus sederhana	12
Gambar 2.7. Cacat kristal titik	15
Gambar 2.8. Dislokasi	16
Gambar 2.9. Slip yang ditimbulkan gerak kristal yang mengalami tegangan	17
Gambar 2.10. Sistematis poligonisasi	18
Gambar 2.11. Mekanisme magnetoresistansi	21
Gambar 3.1. Substrat Cu	24
Gambar 3.2. Grafik hubungan antara suhu dan waktu <i>annealing</i>	25
Gambar 3.3. Pengukur magnetoresistansi probe 2 titik	27
Gambar 4.1. Grafik analisis XRD sampel 1	29
Gambar 4.2. Grafik analisis XRD sampel 2	30
Gambar 4.3. Grafik hubungan B vs R sampel 1	34
Gambar 4.4. Grafik hubungan B vs R sampel 2	34
Gambar 4.5. Nilai rasio magnetoresistansi lapisan tipis sebelum dan setelah <i>di-annealing</i>	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. M_s , T_c , jumlah magneton Bohr n_β	10
Tabel 4.1. Sudut 2θ dan intensitas XRD sampel 1	31
Tabel 4.2. Sudut 2θ dan intensitas XRD sampel 2	32

INTISARI

Studi Pengaruh Suhu *Annealing* Terhadap Struktur Kristal Dan Magnetoresistansi *Permalloy* NiFe Hasil Elektrodeposisi

**Oleh
Warsiti
M 0201010**

Penumbuhan lapisan tipis NiFe dengan teknik elektrodeposisi berhasil dilakukan. Untuk meningkatkan nilai magnetoresistansi dan memperbaiki struktur kristal maka lapisan tipis di-*annealing*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur kristal lapisan tipis NiFe yang terbentuk adalah kubus pusat muka. Variasi suhu yang diberikan pada saat *annealing* tidak mempengaruhi stuktur kristal dari lapisan. Bidang hkl dari lapisan tipis NiFe sebelum dan setelah *annealing* adalah sama yaitu (111), (200), dan (220). Dari hasil penelitian juga diketahui bahwa kenaikan suhu pada saat *annealing* dapat meningkatkan nilai magnetoresistansi dari lapisan tipis NiFe. Nilai rasio magnetoresistansi terbesar diperoleh pada sampel dengan suhu larutan elektrodeposisi 50 °C setelah sampel mengalami perlakuan *annealing* pada suhu 150 °C yaitu sebesar 10,22 %

Kata kunci: elektrodeposisi, NiFe, *annealing*, struktur kristal, magnetoresistansi

ABSTRACT

Study About *Annealing* Temperature Influence To Crystal Structure And Magnetoresistance *Permalloy* NiFe by Electrodeposition Technique

**By
Warsiti
M 0201010**

The growth of NiFe thin film by electrodeposition technique have been done. Annealing was done to improve magnetoresistance ratio of thin film. The result showed that crystal structure of NiFe thin film was face center cubic (FCC). Variation of annealing temperature did not influence the crystal structure of thin film. The crystal planes of thin film are (111), (200), and (220). The result also showed that the increasing of annealing temperature can increase the magnetoresistance value of NiFe thin film. Maximum magnetoresistance ratio is 10,22 % that have obtained on sample which have temperature electrolit 50°C and annealed on 150 °C.

Keyword: Electrodeposition, NiFe, Annealing, Crystal structure, Magnetoresistance

BAB I

PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang

Penelitian material magnetik pertama kali dilakukan di China pada tahun 1970 dengan berhasil dibuatnya kompas magnetik. Dengan memanfaatkan sifat medan magnet banyak peralatan yang telah dibuat seperti generator, transformator, motor listrik, radio, televisi, telepon, dan komputer. Lebih jauh material magnetik dalam bentuk lapisan tipis digunakan dalam berbagai *device* teknologi mikroelektronika dan sensor magnetik. Untuk dapat digunakan sebagai sensor magnet, material magnetik harus mempunyai sifat yang peka terhadap perubahan medan magnet. Sifat ini disebut *magnetoresistance* (MR) yaitu sifat material yang resistansinya berubah ketika dikenai medan magnet dan akan kembali pada kondisi semula jika medan magnet dihilangkan.

Penelitian *Giant Magneto Resistace* (GMR) pertama dilakukan di Paris tahun 1988 pada material antiferromagnetik (AF) Fe/Cu. GMR adalah sifat magnetoresistansi yang besar dan ditemukan pada lapisan tipis material soft magnetik. Sedangkan material soft magnetik adalah material yang mudah mengalami perubahan magnetisasi bila diberikan medan luar dan bila medan luar dihilangkan magnetisasi akan kembali seperti semula. Efek GMR suatu campuran (*alloy*) material ferromagnetik lebih besar daripada material ferromagnetik uniform dengan karakteristik magnetik yang sama karena pada campuran (*alloy*) efek permukaan (*skin effect*) tidak begitu berpengaruh. Sensitivitas

sensor magnetik dengan bahan dasar lapisan tipis hasil elektrodeposisi dipengaruhi oleh komposisi kimia dan struktur domain lapisan (Li dkk, 2003). Pada penelitian ini dibuat lapisan tipis *permalloy* NiFe .

Teknik pembuatan lapisan magnetik ada bermacam-macam yaitu metode *sputtering*, implantasi ion, evaporasi, dan metode elektrodeposisi. Teknik elektrodeposisi adalah teknik pendeposisian lapisan tipis menggunakan listrik. Dalam penelitian ini digunakan metode elektrodeposisi karena mempunyai beberapa keuntungan di antaranya lapisan lebih merata dan daya rekat lebih baik. Selain itu pada proses pelapisan listrik tidak membutuhkan tegangan terlalu tinggi (Tatang A. Taufik, 2000).

Faktor-faktor yang mempengaruhi elektrodeposisi adalah lama waktu pelapisan, pH larutan elektrolit, tegangan, dan suhu pada waktu elektrodeposisi. Dalam penelitian ini digunakan variasi suhu dan waktu pelapisan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil pelapisan. Untuk menghilangkan sisa tegangan (*residual stresses*) pada lapisan akibat elektrodeposisi, lapisan di-*annealing*. Selain itu *annealing* juga bertujuan untuk memperoleh lapisan tipis dengan stuktur permukaan yang lebih baik dan untuk meningkatkan magnetoresistansi lapisan (Li dkk, 2003). Untuk mengetahui struktur kristal lapisan yang terbentuk, maka sampel dikarakteristik dengan XRD.

I. 2. Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pendeposisian lapisan tipis dengan metode elektrodeposisi. Pada proses elektrodeposisi dibuat dengan dan tanpa menggunakan alat pemanas. Sampel di-*annealing* dengan memvariasikan suhu *annealing*. Permasalahan yang akan dipecahkan dalam penelitian ini adalah: bagaimana pengaruh suhu *annealing* terhadap struktur kristal dan sifat magnetoresistansi lapisan tipis NiFe.

I. 3. Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah dibatasi pada pendeposisian lapisan tipis Ni₈₀Fe₂₀ pada substrat Cu menggunakan metode elektrodeposisi. Variasi suhu larutan adalah 28 °C (suhu kamar) dan 50 °C (suhu optimum) dengan lama waktu pelapisan 90 sekon. Sampel yang sudah terlapis kemudian di-*annealing* pada suhu 100 °C 1 jam kemudian setelah karakteristik sampel di-*annealing* kembali pada suhu 150 °C selama 1 jam.

I. 4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh lapisan tipis NiFe dengan metode elektrodeposisi.
2. Mengetahui struktur kristal lapisan tipis NiFe yang terbentuk sebelum dan setelah *annealing*.
3. Mengetahui pengaruh suhu *annealing* terhadap magnetoresistansi lapisan tipis NiFe.

I. 5. Manfaat penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

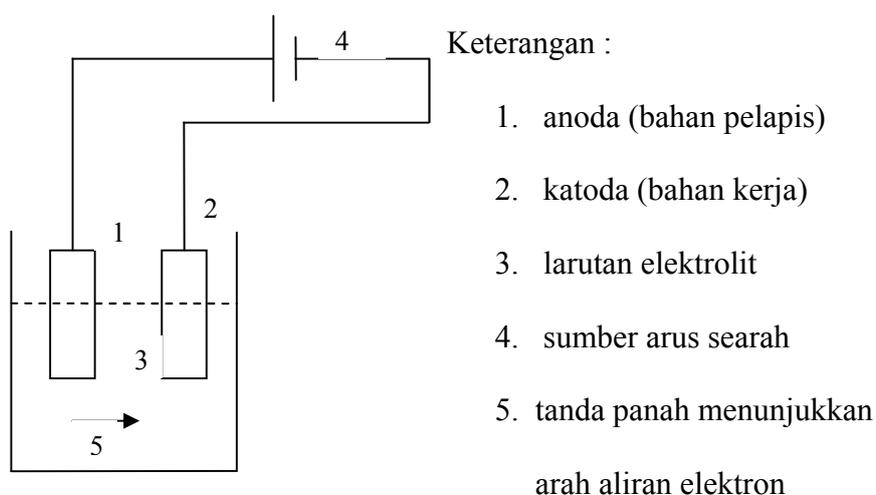
1. Mengetahui sifat-sifat lapisan tipis NiFe hasil elektrodeposisi sebagai bahan dasar sensor magnet.
2. Memberikan referensi parameter-parameter yang dapat meningkatkan nilai magnetoresistansi lapisan tipis NiFe

BAB II

LANDASAN TEORI

II. 1. Elektrodeposisi

Elektrodeposisi adalah pengendapan atau pendeposisian suatu material dengan cara elektrolisis. Prinsip pelapisan logam secara listrik adalah penempatan ion logam yang ditambah elektron pada logam yang dilapisi, yang mana ion-ion logam tersebut didapat dari anoda dan larutan elektrolit yang digunakan (Tatang. A. Taufik, 2000). Elektrodeposisi dilakukan di dalam suatu bejana yang disebut sel elektrolisis yang berisi larutan elektrolit atau rendaman (*bath*) dan di dalamnya tercelup dua elektroda. Masing-masing elektroda dihubungkan dengan arus listrik, di mana anoda dihubungkan dengan kutub positif (+) dan katoda dengan kutub negatif (-). Skema pendeposisian ion logam dengan teknik elektrodeposisi dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Skema pendeposisian ion logam dengan teknik elektrodeposisi (Tatang A. Taufik, 2000)

Pada proses elektrodeposisi terjadi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi yang lebih sering disebut reaksi redoks. Reaksi oksidasi terjadi bila senyawa atau unsur kimia melepaskan elektron, molekul, atau ion-ion dan reaksi reduksi terjadi bila senyawa kimia memperoleh elektron dari partikel-partikel tersebut (Keenan, 1993).

Pada proses elektrodeposisi berlaku hukum Faraday yang menyatakan bahwa jumlah logam yang terdekomposisi selama proses elektrolisis sebanding dengan kuat arus yang mengalir dan waktu pelapisan. Secara matematis hukum Faraday dapat dituliskan (Anton J. Hartomo, 1992) :

$$m = \frac{Ite}{F} \dots\dots\dots (2.1)$$

di mana:

m = massa lapisan (gr)

I = arus yang melalui elektrolit (A)

t = waktu pelapisan (s)

e = massa ekuivalen kimia logam pelapis (gr)

F = bilangan Faraday (96500 coulomb)

Dalam elektrodeposisi faktor yang paling diperhatikan adalah tebal dan distribusi endapan pada katoda bukan berat total logam yang terdeposisi pada katoda. Perbandingan perubahan kimia yang dikehendaki terhadap perubahan kimia total disebut efisiensi arus yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut (Anton J. Hartomo, 1992) :

$$Efisiensi\ arus = \frac{w_a}{w_f} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan:

w_a = massa hasil eksperimen

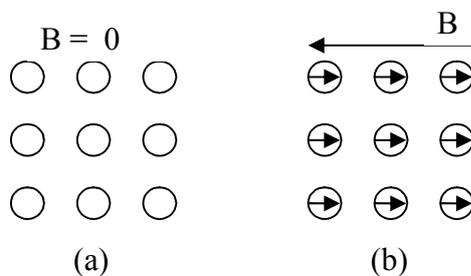
w_f = massa hasil perhitungan Faraday

II.2. Material magnetik

Material magnetik adalah material yang mempunyai sifat magnetik. Sifat magnetik adalah fenomena suatu bahan menarik atau menolak material lain yang berada di dekatnya. Berdasarkan nilai suseptibilitas material magnetik dibedakan menjadi 3 yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik.

II.2.1. Diamagnetik

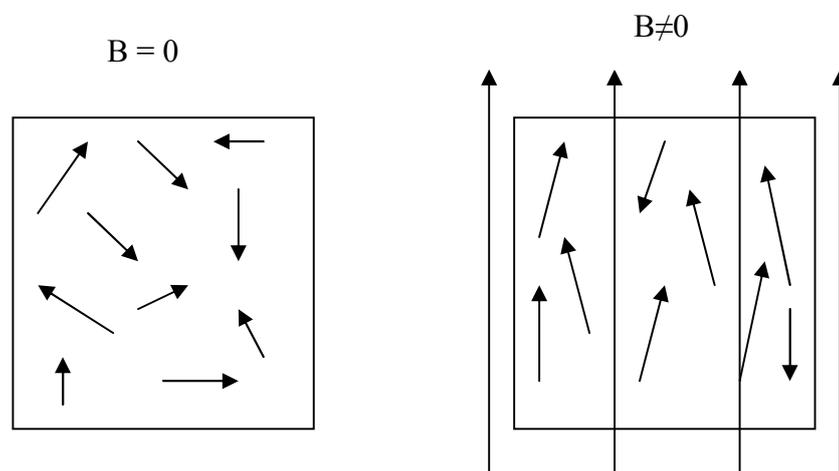
Material diamagnetik tidak mempunyai momen dipol magnet permanen. Material diamagnetik mempunyai nilai suseptibilitas magnetik negatif dan momen magnetik $\mu < 1$. Timbulnya sifat magnetik pada material diamagnetik disebabkan adanya medan magnet luar yang diterapkan pada bahan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2. Momen magnetik material diamagnetik (a) tanpa medan luar,(b). diamagnetik dengan medan luar (Sclater,1999)

II.2.2. Paramagnetik

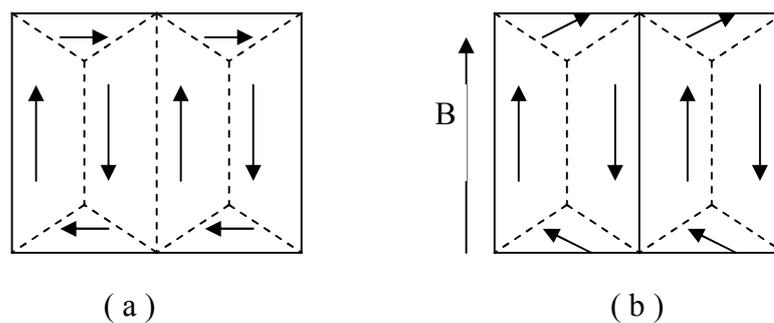
Material paramagnetik mempunyai nilai suseptibilitas positif di mana magnetisasi M paralel dengan medan luar. Material yang termasuk dalam paramagnetik adalah logam transisi dan ion logam tanah jarang (*rare-earth ions*). Ion-ion ini mempunyai kulit atom yang tidak terisi penuh yang berisi momen magnet permanen. Momen magnet permanen terjadi karena adanya gerak orbital dan elektron (Omar, 1975). Setiap elektron berperilaku seperti magnet kecil yang pada medan magnet memiliki salah satu orientasi yaitu searah atau berlawanan arah dengan medan magnet tergantung dengan arah *spin* elektron (Smallman, 2000). Ketika tidak ada medan luar orientasi momen magnet acak, tetapi ketika medan luar diterapkan maka orientasi momen magnetik sebagian mengarah ke medan luar.



**Gambar 2. 3. Orientasi momen magnetik bahan paramagnetik .
(a) Tanpa adanya medan luar, (b) Dengan adanya medan luar
(Sclater,1999)**

II.2.3. Ferromagnetik

Ferromagnetik adalah fenomena magnetisasi spontan tanpa adanya medan magnetik pengimbas. Material ferromagnetik mempunyai momen dipol magnet yang sangat kuat yang berasal dari *spin* elektron. Pada logam ferromagnetik terjadi pengarahannya *spin* elektron secara spontan karena adanya interaksi yang kuat meski tidak diterapkan medan luar. Contoh dari material ferromagnetik adalah besi, nikel, cobalt. Tanpa adanya medan luar orientasi domain adalah acak sehingga secara makroskopik jumlah magnetisasinya adalah nol. Domain adalah daerah dengan momen dipol magnet yang sama. Penerapan medan magnetik membuat domain dengan orientasi yang diutamakan tumbuh dengan mendesak domain yang lain oleh migrasi batas domain sehingga seluruh *spesimen* mengalami magnetisasi (Smallman, 2000). Struktur domain dalam material ferromagnetik dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Struktur domain dalam material ferromagnetik, tanda panah menunjukkan arah magnetisasi. (a) Magnetisasi adalah nol , (b) Penerapan magnetisasi mengubah arah beberapa domain. (Christman, 1988)

Nilai magnetisasi material magnetik tergantung pada besar medan magnet luar yang diberikan. Magnetisasi mencapai nilai maksimum jika momen

magnetik atom seluruhnya sudah sejajar. Nilai maksimum ini disebut magnetisasi jenuh (M_s) (Omar, 1975). Keadaan semua *spin* elektron terarahkan sepenuhnya hanya mungkin terjadi pada suhu rendah. Apabila temperatur dinaikkan maka magnetisasi jenuh berkurang, mula-mula turun perlahan kemudian bertambah dengan cepat hingga mencapai temperatur kritis yang disebut temperatur Curie (T_c). Di atas temperatur Curie *specimen* tidak bersifat ferromagnetik tetapi berubah menjadi paramagnetik (Smallman, 2000). Hubungan antara magnetisasi jenuh M_s dengan momen magnetik atom efektif (magneton Bhor) adalah (Christman, 1988):

$$M_s = N n_B \mu_B \dots\dots\dots(2.3)$$

di mana :

N = jumlah atom per unit volume

n_B = jumlah magneton Bhor

μ_B = magneton Bhor

Tabel 2.1 M_s , T_c dan jumlah magneton Bhor n_B (Christmaan,1988)

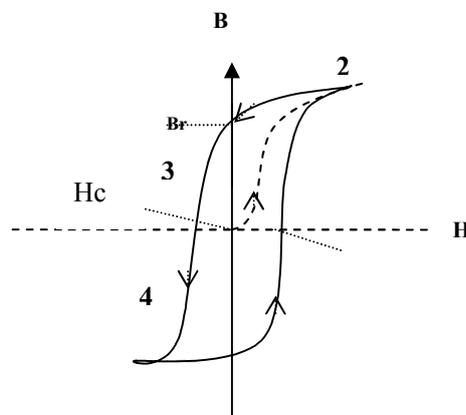
Material	M_s (10^6 A/m)	T_c (K)	n_B
Besi	1.75	1043	2.219
Cobalt	1.45	1404	1.715
Nikel	0.512	631	0.604

Ketika medan magnet diterapkan pada material ferromagnetik maka batas domain bergerak sehingga menyebabkan domain yang mempunyai magnetik acak searah dengan medan menjadi lebih besar dan domain yang berlawanan arah

menjadi lebih kecil. Hubungan antara magnetisasi M induksi magnetik B dan besar medan magnetik H adalah (Christman, 1988):

$$B = \mu (H+M) \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan di atas dapat ditunjukkan pada Gambar 2.5. Nilai H dan B positif menggambarkan arah medan searah, sedangkan nilai negatif menunjukkan medan berlawanan arah.



Gambar 2.5 Kurva histerisis (Christman, 1988)

Pada kondisi awal magnetisasi adalah nol. Saat medan dinaikkan pada arah positif B bergerak dari $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2$, sedangkan ketika medan turun B akan bergerak dari $2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$. H_c adalah medan koersif yaitu gaya koersif yang harus diterapkan pada arah berlawanan untuk membawa B menjadi nol dan B_r adalah magnetisasi residual yaitu nilai B saat H nol.

Berdasarkan sifat magnetisasinya material magnetik dibedakan menjadi 2 :

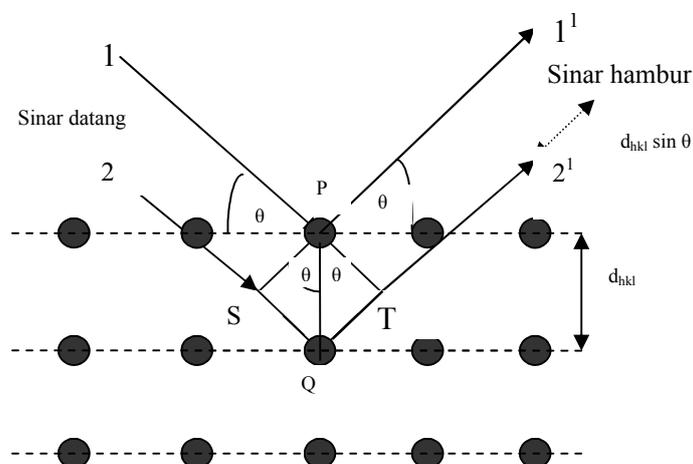
1. Magnet lunak (*soft magnetic material*) yaitu material yang sifat magnetnya sementara. Material soft magnetik mudah mengalami magnetisasi dan demagnetisasi. Bentuk kurva hysteresis material soft magnetik pipih karena

energi yang hilang saat proses magnetisasi rendah sehingga koersifitasnya kecil.

2. Magnet keras (*hard magnetic material*) yaitu material yang sifat magnetnya permanen. Bentuk kurvanya cembung karena energi yang hilang pada saat magnetisasi tinggi.

II.3. Difraksi Sinar-X (XRD)

Sinar-X merupakan bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi tinggi dan panjang gelombang yang pendek. Berkas sinar-X monokromatik yang jatuh pada sebuah kristal akan terhambur ke segala arah, tetapi karena keteraturan letak atom-atom pada arah tertentu gelombang hambur akan berinterferensi konstruktif sedangkan pada arah yang lain akan berinterferensi destruktif. Menurut Bragg, interferensi konstruktif terjadi bila panjang lintasan yang ditempuh sinar hamburan sejajar adalah kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang (λ) (Beiser, 1995). Difraksi sinar-X pada kristal kubus dapat dilihat pada Gambar 2.6 :



Gambar 2. 6. Difraksi sinar-X kristal kubus sederhana (Beiser, 1995)

Suatu berkas sinar-X dengan panjang gelombang λ jatuh pada kristal dengan sudut datang θ terhadap permukaan bidang Bragg yang jarak antaranya d_{hkl} . Sinar datang mengenai atom P bidang satu dan atom Q pada bidang lainnya. Masing-masing atom menghamburkan sebagian berkas dalam arah rambang. Interferensi konstruktif sinar terhambur terjadi pada jarak lintasan antara 1-P-1¹ dan 2-Q-2¹ (SQ + QT) yang merupakan $n\lambda$, di mana keadaan ini dapat ditulis :

$$n\lambda = SQ + QT \dots\dots\dots(2.5)$$

$$n\lambda = d_{hkl} \sin \theta + d_{hkl} \sin \theta \dots\dots\dots(2.6)$$

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta \dots\dots\dots(2.7)$$

Persamaan 2.7 dikenal sebagai hukum Bragg di mana n adalah orde difraksi yang dinyatakan dengan bilangan bulat (1, 2, 3,...), d adalah jarak antara bidang atom, θ adalah sudut hambur, dan λ adalah panjang gelombang sinar-X.

Untuk menentukan struktur atom dari suatu kristal kubus sederhana dengan indeks miller (hkl) dan panjang kisi a jarak lintasan d_{hkl} dapat dituliskan

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan 2.8 ke 2.7 didapatkan besar sudut hambur adalah :

$$n\lambda = 2 \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \sin \theta \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\sin \theta = \frac{n\lambda}{2a} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Jika nilai $\frac{n\lambda}{2a}$ adalah konstan maka Persamaan 2.10 dapat ditulis :

$$\sin \theta = c \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \dots\dots\dots(2.11)$$

Intensitas sinar-X yang dihamburkan oleh suatu kristal bergantung pada faktor hamburan F dari kristal, di mana:

$$I \sim |F|^2$$

$$F = f_{at} \sum_{j=1}^N e^{iGr_j} \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan :

$$G = \frac{2\pi}{a} (h \hat{x} + k \hat{y} + l \hat{z})$$

sehingga Persamaan 2.12 menjadi:

$$F = f_{at} \sum_{j=1}^N e^{i\left(\frac{2\pi}{a}(h\hat{x}+k\hat{y}+l\hat{z})r_j\right)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Untuk kubus pusat muka nilai besarnya jarak antar atom pada kristal (r_j) adalah:

$$r_1=0$$

$$r_2 = \frac{a}{2} (\hat{x} + \hat{y})$$

$$r_3 = \frac{a}{2} (\hat{y} + \hat{z})$$

$$r_4 = \frac{a}{2} (\hat{z} + \hat{x})$$

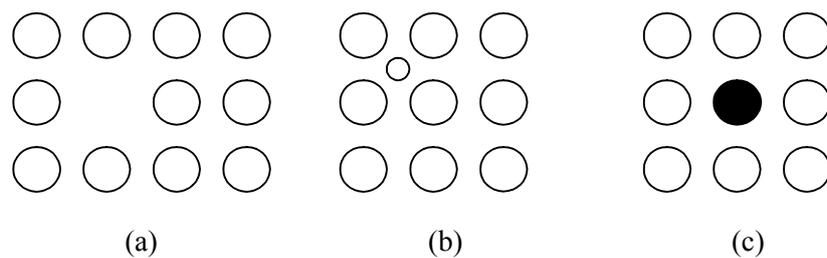
Sesuai dengan Persamaan 2.13 nilai $F \neq 0$ ketika semua hkl genap atau ganjildan pada keadaan tersebut terjadi interferensi konstruktif.

II.4. Cacat Kristal

Cacat dalam struktur kristal adalah kristal yang kehilangan atom-atomnya, adanya atom yang tidak pada tempatnya, kehadiran atom-atom asing yang mempengaruhi sifat fisisnya. Cacat kristal ada 2 yaitu cacat titik dan dislokasi.

II.4.1. Cacat Titik

Cacat titik merupakan cacat kristal 1 dimensi. Cacat titik dibagi menjadi 3 yaitu kekosongan (*vacancy*), penyisipan (*interstisial*) dan ketidakhomogenitas yang dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7. Cacat kristal Titik, (a) kekosongan, (b) interstisial, (c) ketidakhomogenitas (Beiser, 1995)

Kehadiran cacat titik dalam kristal dapat memungkinkan terjadinya difusi atom di dalamnya. Jika terdapat kekosongan dalam atom difusi terjadi dengan lompatan atom yang berdekatan ke tempat kosong sehingga timbul kekosongan baru di belakangnya, kemudian disusul dengan atom lain yang bisa melompat ke tempat itu (Beiser, 1995). Jumlah kesetimbangan *vacancy* pada kristal bergantung pada kenaikan temperatur sesuai dengan:

$$N_v = N \exp \left(- \frac{Q_v}{kT} \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

di mana :

N = jumlah atom

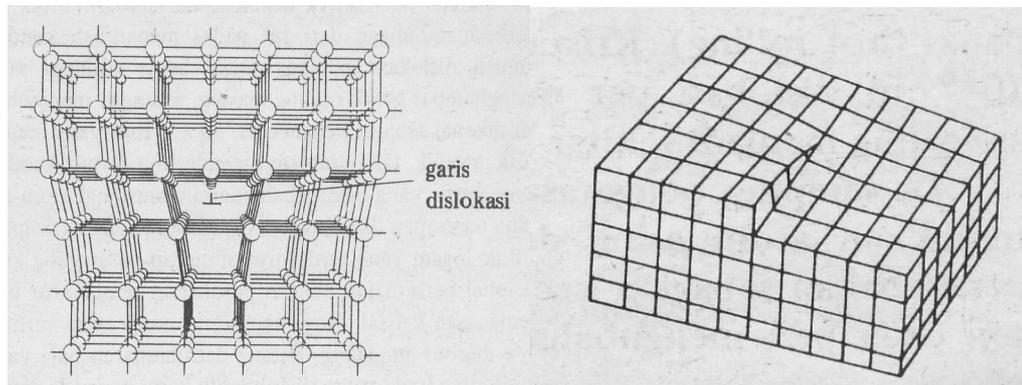
Q_v = energi yang dibutuhkan untuk terjadinya *vacancy* (J)

K = konstanta Boltzman (1.38×10^{-23} J/atom-K)

T = temperatur (K)

II.4.2. Dislokasi

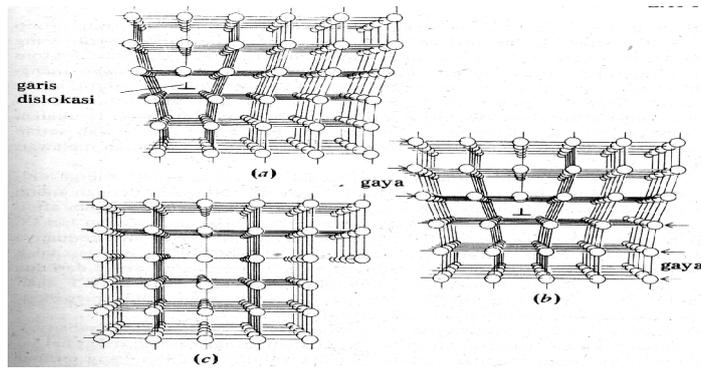
Dislokasi adalah cacat kristal di mana sebaris atom tidak berada pada kedudukan yang seharusnya. Dislokasi ada 2 yaitu dislokasi tepi dan dislokasi sekrup. Dislokasi tepi adalah dislokasi di mana garis dislokasi mempunyai arah yang tegak lurus dengan bidang dislokasi, sedangkan dislokasi sekrup terjadi saat garis dislokasi sejajar dengan bidang dislokasi. Dislokasi dapat dipakai sebagai landasan untuk menerangkan sifat plastis zat padat.



(a)

(b)

Gambar 2. 8. Dislokasi. (a) Dislokasi tepi, (b) dislokasi sekrup (Beiser,1995)



Gambar 2. 9. Slip yang ditimbulkan gerak kristal yang mengalami tegangan. (a) konfigurasi awal kristal, (b) Dislokasi bergerak ke kanan ketika atom pada lapisan di bawahnya berturut-turut menggeser ikatannya ke lapisan atas satu baris setiap kali, (c) kristal telah mengalami deformasi permanen (Beiser, 1995)

Gambar 2. 9 menunjukkan bagaimana kristal yang mengandung dislokasi tepi dapat terdeformasi secara permanen dengan sepasang gaya yang tidak terlalu besar. Barisan atom di bawah dan di sebelah kanan dislokasi menggeser ikatannya pada barisan atom langsung di atasnya sehingga jika gaya diterapkan dislokasi bergerak satu jarak atom ke kanan. Proses ini akan terus berulang hingga dislokasi sampai ke tepi kristal dan terbentuk deformasi permanen. Proses ini disebut *slip* dan bidang tempat Bergeraknya disebut bidang *slip*. Banyaknya dislokasi bertambah seiring dengan adanya aliran plastis deformasi berkesinambungan dari zat padat. Jumlah dislokasi yang sangat besar dan saling berkaitan menyebabkan gerak masing-masing terhambat sehingga menambah plastisitas bahan. Gejala ini disebut pengerasan (Beiser, 1995).

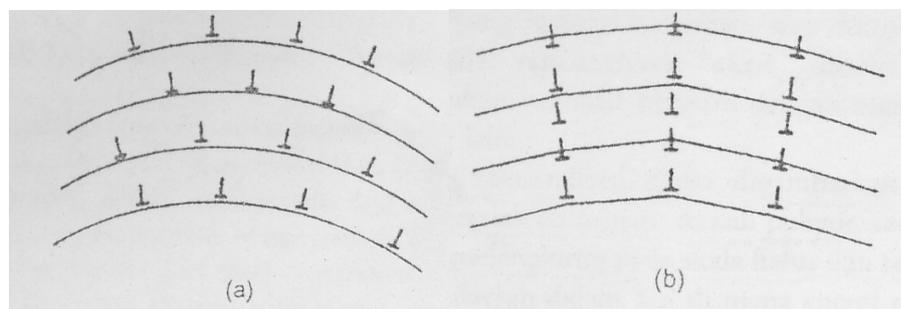
II.5. Annealing

Material yang mengalami deformasi akan berusaha kembali ke keadaan semula yang lebih sempurna yang mempunyai energi lebih rendah. Pengembalian

ke struktur yang lebih setimbang hanya dapat terjadi pada temperatur yang tinggi. Pemulihan bahan ke kondisi awal dapat dilakukan dengan proses anil yaitu perlakuan panas terhadap logam untuk mengurangi kekerasan dan keuletan. Pada saat proses anil logam akan dipanaskan pada temperatur tinggi sampai mencapai $1/3$ titik leleh absolut selama waktu tertentu kemudian didinginkan perlahan-lahan (Smallman, 2000). Bahan yang di-*annealing* akan mengalami 3 proses yaitu pemulihan, rekristalisasi, dan pertumbuhan butir.

II.5.1. Pemulihan

Tahap pemulihan anil terdiri dari penyusunan kembali dislokasi untuk mengurangi energi kisi dan tidak melibatkan migrasi dari batas sudut besar. Selama tahap pemulihan terjadi penurunan energi yang disimpan dan resistivitas diikuti oleh penurunan kekerasan yang kecil. Salah satu proses pemulihan yang menghasilkan penurunan energi regangan kisi adalah penyusunan kembali dislokasi membentuk dinding sel yang disebut poligonisasi. Secara sistematis poligonisasi dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 (a) Susunan acak dari dislokasi sisi sejajar berlebih dan (b) penyebaran membentuk dinding dislokasi (Smallman, 2000)

Dislokasi dengan tanda yang sama mengatur diri membentuk dinding dan membentuk batas-batas sudut kecil (sub batas butir). Ketika terjadi deformasi sebagian kisi melengkung, dan lengkungan yang terjadi disebabkan pembentukan dislokasi sisi berlebih yang sejajar dengan sumbu pelengkungan. Ketika dipanaskan dislokasi membentuk sub batas butir melalui proses peniadaan dan penyusunan kembali membentuk dinding.

Poligonisasi melibatkan migrasi kekosongan dari dan ke tepi setengah bidang dislokasi. Pelenyapan kekosongan dari kisi yang diikuti penurunan energi regangan dislokasi merupakan penyebab perubahan tahanan listrik dan energi yang tersimpan (Smallman, 2000).

II.5.2. Rekristalisasi

Pada tahap rekristalisasi primer kisi yang terdeformasi secara menyeluruh digantikan oleh kisi baru tanpa regangan melalui proses nukleasi dan pertumbuhan, di mana butir tanpa tegangan tumbuh nuklei yang yang terbentuk dalam matrik deformasi. Orientasi butir baru yang berbeda dengan orientasi kristal yang digantikan menyebabkan proses pertumbuhan disebut proses inkoheren. Hal ini terjadi karena batas sudut besar bergerak memisahkan kristal dari matrik yang mengalami regangan. Laju rekristalisasi bergantung pada beberapa faktor yaitu :

1. Jumlah deformasi sebelumnya (makin besar tingkat pengerjaan dingin makin rendah temperatur rekristalisasi dan semakin halus ukuran butir).

2. Temperatur *annealing* (dengan turunnya temperatur maka waktu untuk menghasilkan besar butir konstan bertambah secara eksponensial).
3. Kemurnian sampel.

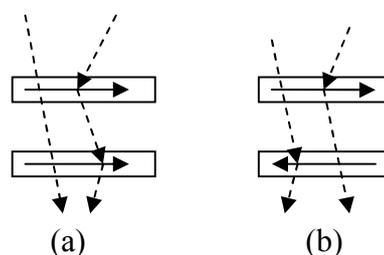
Proses rekristalisasi diawali terjadinya poligonisasi daerah kisi yang melengkung pada skala halus dan terbentuk beberapa daerah dalam kisi di mana energi regangan lebih rendah dibandingkan matrik sekitarnya. Keadaan ini merupakan kondisi primer terjadinya nukleasi. Bila sudut antara sub butir kecil dan kurang dari satu derajat maka sub butir terbentuk dan berkembang cukup pesat. Bila sudut diantara sub butir mempunyai orde beberapa derajat pertumbuhan sub butir menjadi sangat lambat. Batas sudut besar, $\theta \sim 30^0 - 40^0$ menyebabkan sub butir memiliki mobilitas tinggi karena ketidakaturan kisi yang besar. Atom pada batas ini mudah berpindah dari kristal yang satu ke kristal yang lain. Sub butir ini kemudian tumbuh dengan laju yang lebih cepat dibanding sub butir yang mengelilinginya sehingga disebut nukleus butir rekristalisasi. Semakin tumbuh sub butir tersebut perbedaan orientasi antara nukleus dan matrik yang ditemui dan dikonsumsi juga makin besar sehingga subbutir ini disebut subbutir bebas regangan baru yang terpisah dari daerah sekitarnya dengan batas sudut besar. Jadi nukleus rekristalisasi berawal dari subbutir dalam mikrostruktur terdeformasi yang tumbuh menjadi butir bebas regangan. Makin besar deformasi semakin besar kelengkungan kisi, akibatnya makin kecil ukuran sub butir yang tumbuh ketika mencapai batas sudut besar (Smallman, 2000).

II.5.3. Pertumbuhan Kristal

Setelah rekristalisasi primer selesai yaitu apabila kristal yang tumbuh telah mengkonsumsi seluruh material yang mengalami regangan, material menurunkan energinya dengan mereduksi luas permukaan butir keseluruhan. Pertumbuhan butir ditandai dengan batas butir menjadi lurus dan butir yang kecil menyusut sedang butir yang besar tumbuh.

II.6. Magnetoresistansi (MR)

Magnetoresistansi (MR) merupakan perubahan resistansi listrik pada struktur lapisan ferromagnetik atau paramagnetik ketika dikenakan medan magnet. Penerapan medan magnet luar membuat orientasi momen magnetik berubah. Perubahan resistansi sangat bergantung pada arah *spin* elektron baik paralel maupun antiparalel. Elektron yang mempunyai *spin* paralel mengalami hamburan yang lebih rendah sehingga resistansinya juga rendah. Sedangkan ketika momen magnetik adalah anti paralel, pada medan magnet kecil tidak ada elektron yang mempunyai hamburan rendah sehingga resistansinya meningkat. Mekanisme MR dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Mekanisme magnetoresistansi, (a) pada medan tinggi sehingga resistansi rendah , (b) pada medan rendah sehingga resistansi tinggi (www.Stoner.Leeds.ac.uk)

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika material jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta selama 5 bulan mulai bulan Maret sampai Juli 2005. Karakteristik XRD dan magnetoresistansi dilakukan di Sub Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

III.1. Alat dan Bahan

III.1.1. Alat

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah:

1. Neraca Asep XY-2000A dengan ketelitian 0,001 gram.
2. Seperangkat alat elektrodeposisi yang terdiri:
 - *Power supply*
 - Gelas beker
 - *Hot plate & stirrer jenway*
 - Termometer
 - Ph meter
 - *Stop watch*
3. Kain bludru
4. Amplas
5. Seperangkat alat pengukur magnetoresistansi yang terdiri dari :
 - Amperemeter Keithley

- Probe 2 titik
 - Tesla meter
 - *Power supply*
 - Solenoid
 - Voltmeter
 - Resistor
6. Seperangkat alat *annealing* yang terdiri dari :
- Komputer dengan *Neytech Special Programming Win 95/98 version 1.0.00*
 - *Max Vac Pump model no 94-94-198 voltage 100-200 V 50/60 Hz*
 - *Neytech Qex model no 94-94-198 voltage 100-200 V 50/60 Hz*
7. *X-Ray Diffractometer Shimadzu 6000* dengan sumber Cu K α

III. 1. 2. Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian untuk membuat larutan 250 ml adalah (Li dkk, 2003) :

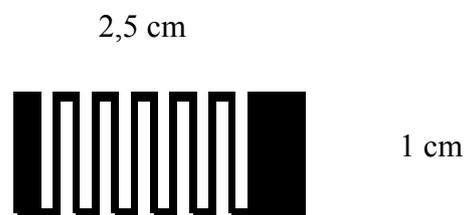
1. Pelat Cu (PCB)
2. NiSO₄ 6 H₂O sebanyak 32,75 gram
3. FeSO₄ 7 H₂O sebanyak 1,36 gram
4. H₃BO₃ sebanyak 6,19 gram
5. Sakarin sebanyak 0,5 gram
6. Alkohol 99%
7. Aquades sebanyak 250 ml

8. KOH

III.2. Prosedur Penelitian

III.2.1. Pembuatan substrat

Substrat dibuat dari pelat Cu (PCB) yang dipotong dengan ukuran $(2,5 \times 1) \text{ cm}^2$, kemudian diberi pola geometri dengan lebar pola 1 mm.



Gambar 3. 1 Substrat Cu

Sebelum pendeposisian substrat dibersihkan dengan amplas supaya kotoran-kotoran yang menempel hilang. Kemudian substrat dibersihkan dengan alkohol dan dikeringkan.

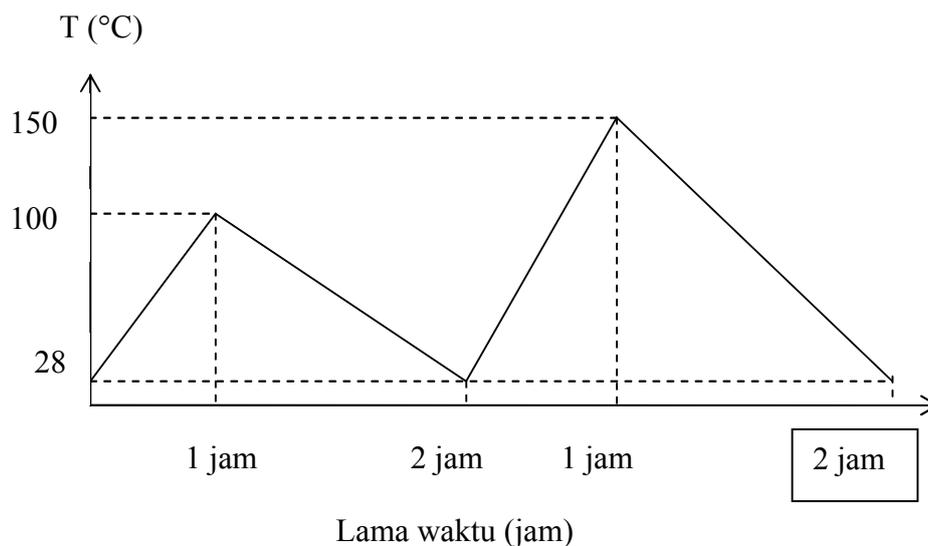
III.2.2. Proses Elektrodeposisi

1. Dibuat larutan elektrolit yang terdiri dari NiSO_4 0,5 M, FeSO_4 0,02 M, H_3BO_3 0,4 M dan sakarin. Fungsi sakarin adalah untuk mendapatkan lapisan yang padat dan halus dengan penampakan mengkilap dan mempunyai daya rekat yang baik dengan substrat. Sedangkan H_3BO_3 berfungsi untuk mempercepat menempelnya ion Fe^{2+} dan Ni^{2+} pada substrat (Gao dkk, 1997).

2. Larutan elektrolit dikondisikan pada pH 3 yaitu dengan menambahkan KOH dan air. pH larutan diukur menggunakan pH meter.
3. Substrat Cu dihubungkan dengan katoda dan elektrode Pt dengan anoda.
Elektrode Pt digunakan karena mempunyai sifat inert.
4. *Power supply* dihidupkan dan diatur pada tegangan $V = 3 V$
5. Dilakukan proses pendeposisian lapisan tipis pada suhu kamar (28°C) dan suhu optimum (50°C) dengan waktu deposisi 90 s

III.2.3. *Annealing*

Sampel yang telah jadi di-*annealing* dengan variasi suhu *annealing* 100°C dan 150°C dengan waktu *annealing* 60 menit. Perlakuan suhu 100°C dan 150°C dipilih dengan mengingat sifat PCB yang tidak tahan panas. Grafik *annealing* dapat digambarkan:



Gambar 3.2. Grafik hubungan antara suhu dengan waktu *annealing*

Langkah kerja dalam proses *annealing* adalah :

1. Seperangkat alat *annealing* dihidupkan.
2. *Neytech Special Programming* dibuka dan parameter-parameter yang digunakan selama proses *annealing* dimasukkan pada program.
3. Parameter-parameter yang sudah dimasukkan ditransfer ke *Neytech Qex*.
4. Sampel diletakkan di atas holder *Neytech Qex* dan proses *annealing* dimulai.

III.2.4. Karakterisasi

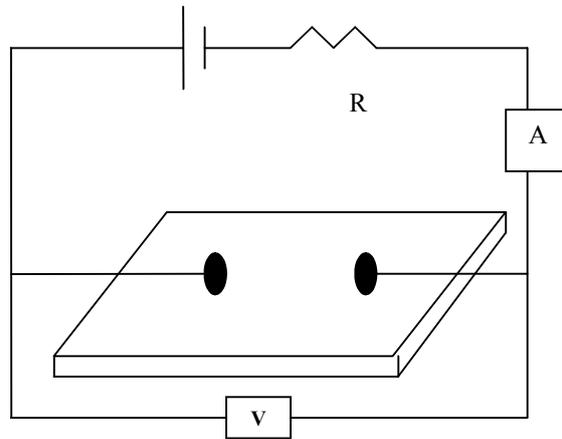
III.2.4.1. Penentuan Struktur Kristal

Dari difraktogram hasil XRD akan diperoleh nilai 2θ untuk setiap puncak. Dari Persamaan 2.11 dapat diketahui nilai hkl dari masing-masing. Nilai hkl tersebut dicocokkan dengan data JCPDS NiFe (*Joint on Comitee Powder Diffraction Standart*) sehingga dapat dipastikan bahwa lapisan yang terbentuk adalah NiFe.

III.2.4.2. Pengukuran Magnetoresistansi

Sampel diletakkan pada holder probe 2 titik kemudian dihubungkan dengan voltmeter dan amperemeter *Keithley* untuk mengetahui besarnya arus dan tegangan yang melaluinya. Medan magnet ditimbulkan dari *solenoid* yang dihubungkan dengan *power supply*. Besar medan magnet dapat divariasikan dengan mengubah besar arus pada *power supply*. Pengukuran magnetoresistansi dimulai pada kondisi tanpa medan ($B = 0 \text{ mT}$) sampai $B = 6 \text{ mT}$ atau diperoleh nilai R konstan. Pada saat pengukuran posisi sampel adalah sejajar dengan arah medan

supaya diperoleh nilai magnetoresistansi yang lebih besar. Skema pengukuran magnetoresistansi seperti digambarkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Pengukur magnetoresistansi probe 2 titik

Untuk setiap medan diperoleh nilai V dan I yang kemudian dibuat grafik hubungan antara V dan I sesuai dengan persamaan garis lurus $y = mx+c$ di mana sebagai sumbu y adalah V dan sumbu x adalah I dan gradien m adalah R . Hal ini sesuai dengan hukum Ohm yaitu :

$$V = IR \dots\dots\dots(3. 1)$$

di mana ;

V = tegangan yang terukur pada lapisan (mV)

I = arus yang mengalir pada lapisan (mA)

R = resistansi ($m\Omega$)

Setelah didapatkan nilai R untuk setiap perubahan medan magnet selanjutnya dibuat grafik hubungan R dengan B . Dari grafik magnetoresistansi dapat dicari nilai rasio magnetoresistansinya (Li dkk,2003):

$$R_s = \frac{R_{H=0} - R_{H=C}}{R_{H=0}} \times 100 \% \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan

R_s = rasio magnetoresistansi

$R_{(H=0)}$ = resistansi saat $B = 0 \text{ mT}$

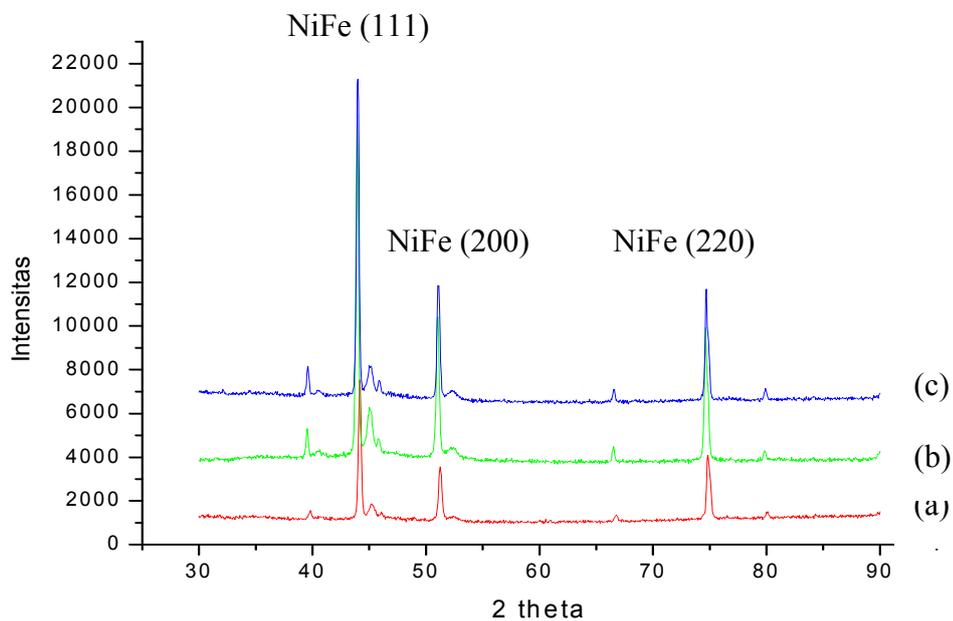
$R_{(H=C)}$ = resistansi yang mulai konstan

BAB IV

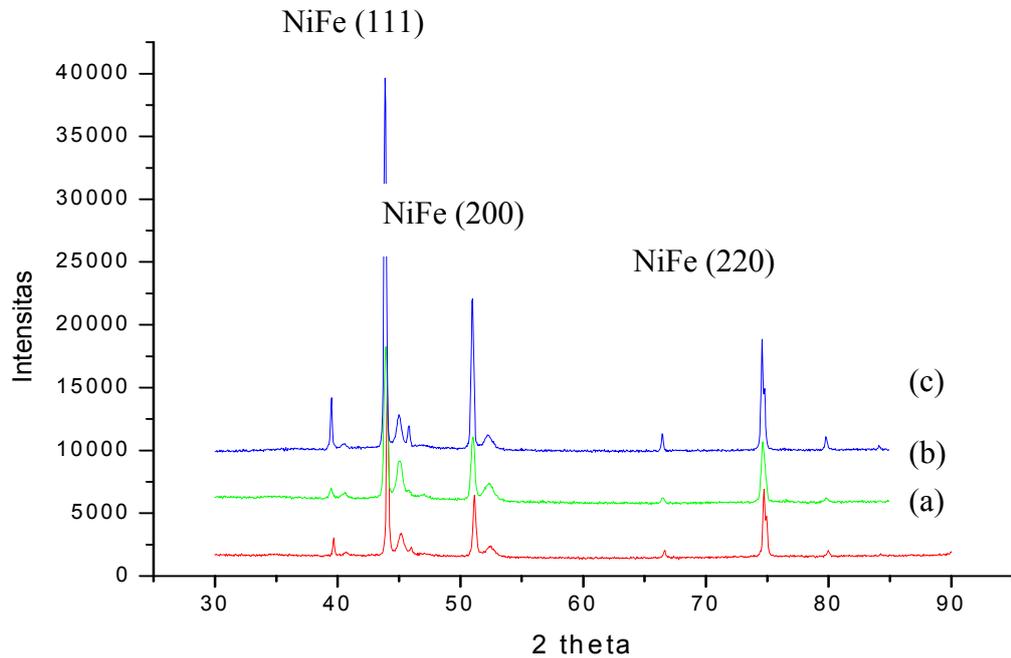
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Analisis Difraksi Sinar -X

Dalam penelitian ini untuk mengetahui struktur kristal lapisan tipis hasil elektrodeposisi sebelum dan sesudah *annealing* dianalisis dengan menggunakan XRD. Sumber yang digunakan adalah $\text{Cu}_{K\alpha}$ dengan panjang gelombang 1,54060 Å. Hasil analisis XRD untuk sampel 1 yaitu lapisan tipis hasil elektrodeposisi pada suhu kamar dengan waktu deposisi 90 s seperti diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Grafik analisis XRD sampel 1 (lapisan tipis hasil elektrodeposisi pada suhu $T=28^{\circ}\text{C}$ dan waktu deposisi $t=90\text{s}$), (a) sebelum *annealing*, (b) sesudah *annealing* 100°C , (c) sesudah *annealing* 150°C .



Gambar 4.2 . Grafik analisis XRD sampel 2 (Lapisan tipis hasil elektrodeposisi pada suhu 50°C dan waktu deposisi $t = 90\text{s}$), (a) sebelum *annealing*, (b) sesudah *annealing* 100°C , (c) sesudah *annealing* 150°C .

Pada grafik terlihat adanya beberapa puncak karakteristik yang menunjukkan bahwa lapisan yang terbentuk adalah polikristal baik itu sebelum atau sesudah di-*annealing*. Hasil XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis sebelum di-*annealing* mempunyai puncak-puncak utama yang dimiliki oleh NiFe pada sudut $2\theta = 44,133^{\circ}$ dengan jarak antar bidang $d = 2,050\text{\AA}$ dan bidang hkl (111), $2\theta = 51,217^{\circ}$ dengan jarak antar bidang $d = 1.782\text{\AA}$ dan bidang hkl (200), dan $2\theta = 74,831^{\circ}$ dengan jarak antar bidang $d = 1.268\text{\AA}$ dan bidang hkl (220). Setelah lapisan di-*annealing* terjadi pergeseran puncak-puncak karakteristik. Untuk lebih jelas besarnya perbandingan sudut 2θ antara masing-masing puncak sebelum dan setelah *annealing* ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sudut 2 θ dan intensitas hasil XRD sampel 1 (T = 28⁰C, t = 90s)

Perlakuan	2 θ (°)	d _{hkl} (Å)	Counts (I/s)	hkl	a (Å)
Sebelum <i>annealing</i>	44,133	2,050	4634	111	3,551
	51,217	1,782	1805	200	3,576
	74,831	1,268	2586	220	3,586
<i>Annealing</i> 100 °C	43,905	2,060	10765	111	3,569
	50,998	1,789	4904	200	3,579
	74,626	1,271	5036	220	3,594
<i>Annealing</i> 150 °C	43,959	2,058	10238	111	3,565
	51,060	1,787	4335	200	3,575
	74,682	1,270	4298	220	3,592

Dari Grafik 4.1 dan Tabel 4.1 diketahui bahwa *annealing* berpengaruh pada intensitas hamburan sinar-X. Setelah lapisan di-*annealing* pada suhu 100 °C terjadi kenaikan intensitas yang cukup tinggi untuk ketiga puncak karakteristik tanpa terjadi perubahan bidang hkl. Hal ini dapat disebabkan adanya proses pemulihan selama *annealing* berlangsung yaitu adanya perbaikan struktur kristal dengan mengurangi adanya kekosongan, cacat kristal dan penyusunan kembali dislokasi yang dimungkinkan terdapat dalam lapisan tipis NiFe yang terbentuk. Pemulihan struktur kristal yang terjadi juga diikuti oleh penajaman garis difraksi sehingga intensitas sinar-X yang terhambur meningkat (Smallman, 2000).

Setelah di-*annealing* pada suhu 150 °C terjadi penurunan intensitas pada ketiga puncak karakteristik yang ada tanpa diikuti oleh perubahan bidang hkl. Penurunan intensitas dapat disebabkan karena butir-butir baru yang terbentuk belum maksimal atau belum stabil sehingga ketika ada efek temperatur maka atom-atom mengalami getaran panas sehingga intensitas refleksinya menurun.

Gambar 4.2 menunjukkan hasil analisis XRD untuk sampel 2 yaitu lapisan tipis NiFe hasil elektrodeposisi dengan suhu larutan 50°C dan waktu deposisi 90s. Berdasarkan data JCPDS ketiga puncak utama yang terbentuk merupakan milik NiFe. Seperti pada sampel pertama ketiga puncak karakteristik mempunyai bidang hkl (111), (200), dan (220). Perbandingan sudut 2θ dengan intensitas pada sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Sudut 2θ dan intensitas hasil XRD sampel 2 (T= 50°C, t =90s)

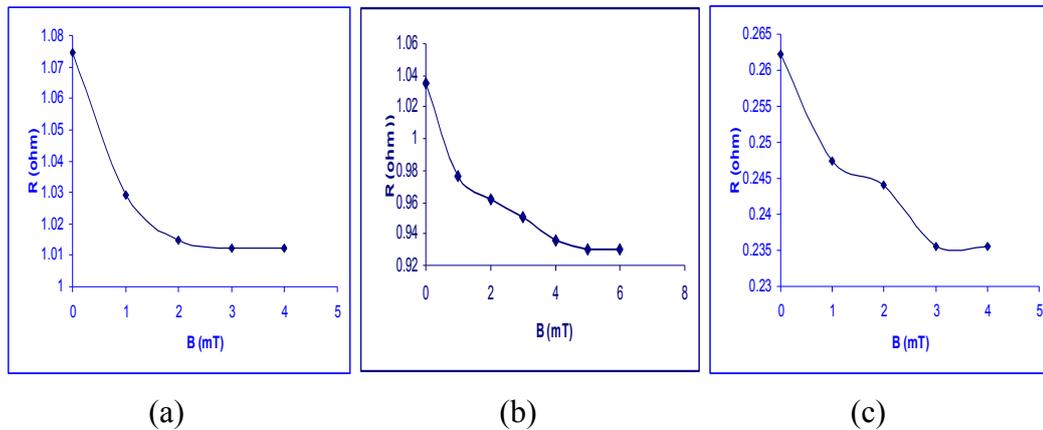
Perlakuan	2θ (°)	d_{hkl} (Å)	Counts (I/s)	hkl	a (Å)
Sebelum <i>annealing</i>	44,035	2,055	10310	111	3,559
	51,124	1,785	4808	200	3,570
	74,739	1,269	3699	220	3,590
<i>Annealing</i> 100 °C	43,889	2,061	8780	111	3,570
	50,991	1,271	3992	200	3,579
	74,623	1,789	3683	220	3,594
<i>Annealing</i> 150 °C	43,850	2,063	18351	111	3,573
	50,955	1,791	10033	200	3,581
	74,579	1,271	7915	220	3,596

Dari Gambar 4.2 dan Tabel 4.2 memperlihatkan adanya pergeseran puncak sudut-sudut karakteristik yang diikuti perubahan intensitas. Berbeda dengan sampel 1 ketika sampel di-*annealing* pada suhu 100 ° C terjadi penurunan intensitas. Penurunan intensitas disebabkan adanya efek temperatur pada suatu bahan terhadap intensitas refleksi dari pola difraksi sinar -X. Ketika berada pada suhu di atas suhu nol mutlak atom-atom di dalam kristal mengalami getaran panas di sekitar posisi rata-rata. Getaran panas dari atom menyebabkan jarak antar bidang menjadi berubah-ubah sehingga intensitas refleksi menurun pada saat suhu naik. Setelah di-*annealing* pada suhu 150⁰C terjadi kenaikan intensitas dan peningkatan derajat kekristalan. Hal ini disebabkan adanya proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang menghasilkan struktur kristal yang stabil sehingga ketika dikenai sinar-X dapat terhambur dengan maksimal sehingga intensitasnya meningkat. Peningkatan nilai intensitas juga disebabkan penajaman garis difraksi.

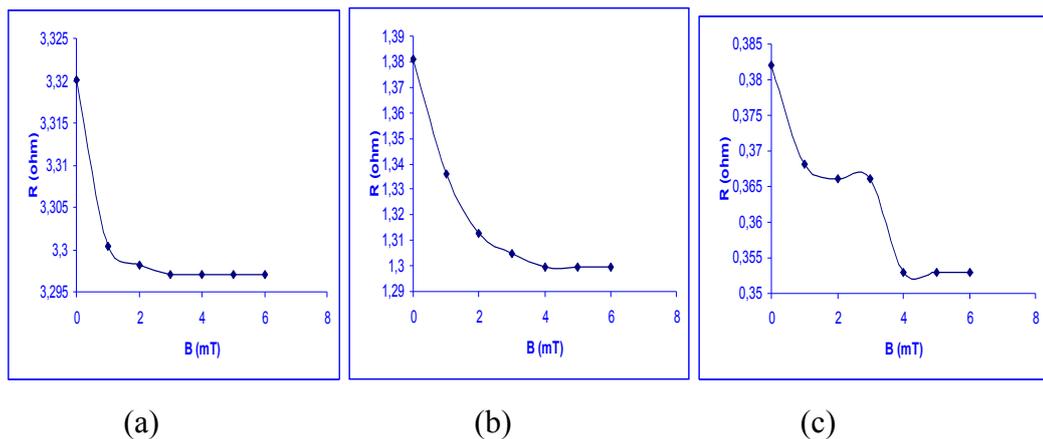
Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 memperlihatkan bahwa lapisan tipis NiFe yang terbentuk dengan bidang hkl (111), (200), (220) mempunyai struktur kristal kubus pusat muka (FCC). Hal ini sesuai dengan data JCPDS yang menunjukkan bahwa NiFe mempunyai struktur kristal kubus pusat muka dengan bidang hkl (111), (200), dan (220) yang mempunyai parameter kisi $a = 3,597\text{\AA}$.

IV.2. Magnetoresistansi

Dari hasil pengukuran menggunakan probe 2 titik diperoleh nilai magnetoresistansi lapisan tipis NiFe untuk masing-masing sampel seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4. 3. Grafik hubungan B vs R sampel 1 ($T = 28^{\circ}\text{C}$, $t = 90\text{s}$); (a) sebelum annealing, (b) setelah annealing 100°C , (c) setelah annealing 150°C



Gambar 4. 4. Grafik hubungan B vs R sampel 2; (a) sebelum annealing, (b) setelah annealing 100°C , (c) setelah annealing 150°C

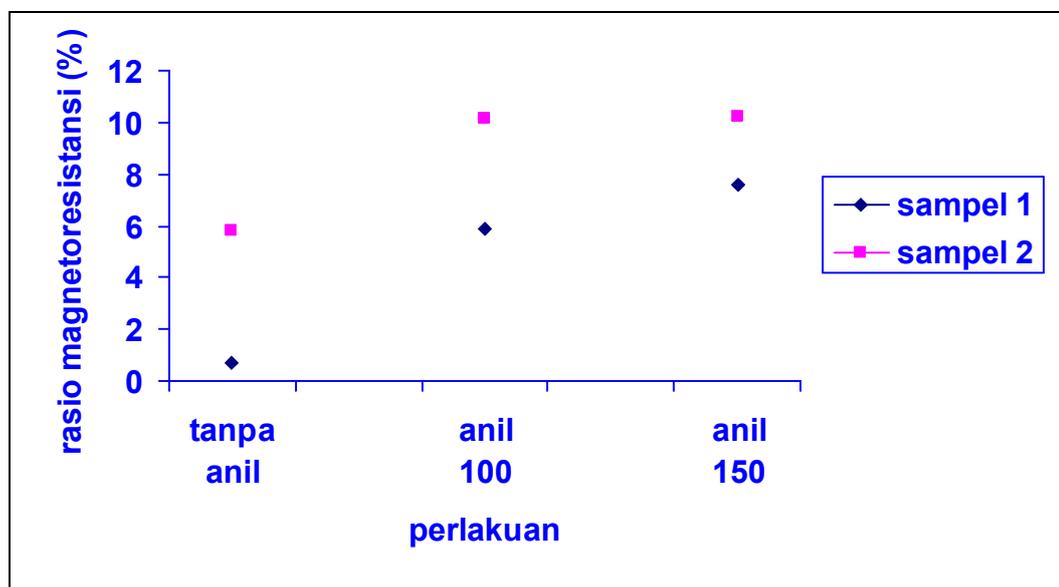
Dari Gambar 4.3 dan 4.4 dapat diketahui perbedaan nilai resistansi lapisan tipis NiFe sebelum dan setelah perlakuan *annealing* untuk sampel 1 dan sampel 2. Pada sampel 1 dan sampel 2 terlihat bahwa nilai resistansi lapisan sebelum *annealing* lebih besar dibandingkan setelah perlakuan *annealing*. Pada sampel 1 setelah *annealing* pada suhu 100°C penurunan nilai resistansi disebabkan adanya perbaikan struktur kristal karena adanya proses pemulihan pada saat *annealing*.

Pemulihan pada saat *annealing* meliputi pengurangan cacat kristal yaitu mengurangi kekosongan dan dislokasi sehingga diperoleh struktur kristal yang lebih teratur. Setelah *annealing* 150 °C penurunan nilai resistansi lapisan lebih disebabkan struktur kristal yang lebih baik yaitu dengan adanya proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang baru. Seperti pada sampel pertama adanya penurunan resistansi pada lapisan disebabkan adanya proses *annealing*.

Resistivitas (hambatan jenis) suatu bahan dipengaruhi oleh beberapa hal yang tidak saling bergantung yaitu getaran termal (ρ_t), ketidaksempurnaan kristal termasuk impuritas dan cacat kristal (ρ_i), hamburan elektron pada permukaan (ρ_c), dan butiran (ρ_b). Ketidaksempurnaan kristal yaitu impuritas dan cacat kristal menyebabkan mobilitas elektron turun sehingga resistansi tinggi. Menurunnya mobilitas dalam lapisan disebabkan adanya tumbukan antara elektron dan atom-atom di dalamnya yang tidak teratur. Perlakuan *annealing* akan mengurangi adanya cacat kristal dengan adanya pemulihan, rekristalisasi, dan pertumbuhan butir baru yang strukturnya lebih teratur. Hal ini diperkuat dengan hasil XRD pada Gambar 4.1.b. Keteraturan kristal membuat mobilitas elektron meningkat karena tidak ada yang menghalangi gerak elektron akibatnya resistansi lapisan menurun.

Dari Gambar 4.3 dan 4.4 juga dapat dilihat bahwa nilai resistansi maksimal untuk tiap sampel diperoleh saat medan magnet $B = 0$. Ketika belum diberikan medan magnet keadaan *spin-spin* elektron di dalam lapisan adalah acak (belum teratur) sehingga gerak elektron mengalami gangguan. Setelah diberikan medan magnet maka *spin-spin* elektron di dalam lapisan mulai terarah seperti arah magnetisasi yang diberikan. Semakin besar medan magnet maka nilai resistansi

lapisan semakin menurun dan arah *spin* elektron mulai teratur sehingga akan terjadi pada saat medan tertentu seluruh *spin* akan mempunyai arah yang sama dengan arah magnetisasi. Jika hal ini terjadi maka nilai resistansi lapisan tidak akan berubah atau mulai konstan, berapapun medan diberikan resistansinya tetap. Keadaan ini berarti bahwa lapisan telah mengalami magnetisasi jenuh.



Gambar 4.5. Nilai rasio magnetoresistansi lapisan tipis sebelum dan sesudah *annealing*

Dari Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa rasio magnetoresistansi lapisan sebelum di-*annealing* lebih kecil dibandingkan nilai rasio magnetoresistansi setelah *annealing*. Perlakuan *annealing* dapat mengurangi tegangan sisa (*residual stresses*) dalam lapisan karena proses elektrodposisi. Pengurangan tegangan sisa membuat domain-domain di dalam lapisan dapat bergerak lebih bebas sehingga dengan pemberian medan magnet yang tidak terlalu besar maka arah orientasi domain dapat berubah sesuai dengan magnetisasi yang diberikan. Dengan kata

lain *annealing* membuat lapisan lebih bersifat soft magnetik. Pergerakan domain yang lebih bebas juga menyebabkan menurunnya nilai resistivitas lapisan sehingga nilai rasio magnetoresistansi lapisan meningkat.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Berhasil dibuat lapisan tipis NiFe dengan metode elektrodeposisi dengan suhu larutan 28 °C dan suhu 50 °C dengan waktu deposisi 90 s.
2. Lapisan tipis NiFe yang terbentuk mempunyai struktur kristal kubus pusat muka (FCC) dengan bidang hkl sebelum dan setelah *annealing* (111), (200), dan (220) dengan parameter kisi 3,5Å.
3. Semakin tinggi suhu *annealing* yang diberikan nilai resistansi lapisan cenderung semakin menurun dan nilai magnetoresistansinya semakin besar.

V.2. Saran

Untuk memperoleh hasil penelitian yang semakin akurat dapat dilakukan:

1. Menggunakan variasi suhu *annealing* yang lebih banyak sehingga nantinya dapat dicari suhu yang optimal untuk mendapatkan lapisan tipis yang baik sebagai bahan sensor magnet.
2. Melakukan teknik DTA (*Differential Thermal Analysis*) untuk mengetahui hubungan kenaikan suhu dengan kekristalan pada saat *annealing*.
3. Dilakukan uji SEM untuk mengetahui struktur morfologi dari lapisan tipis yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim: *Giant Magnetoresistance*, Website: www.Stoner.Leeds.ac.uk
- Anton J. Hartomo, 1992: *Mengenal Pelapisan Logam*, Andi Offset, Yogyakarta
- Beiser, Arthur, 1995: *Fisika Modern*, Erlangga, Jakarta
- Christman, J. R., 1988: *Fundamental of Solid State Physics*, John Willey & Sons, New York
- Gao, L. J., Ma, P., Novogradect, K. M., Norton, P. R., 1997: *Characterization of Permalloy Thin Film Electrodeposited on Si (111) Surface*, J. Appl. Phys. Num 14. Vol 81
- Keenan, Kleinfelter, Wood alih bahasa oleh Pudjaatmaka A. Hadyana, 1993: *Kimia Untuk Universitas*, Edisi Ke enam, Jilid 2, Erlangga, Jakarta
- Li, X. P., Zhao, Z. J., Chua, C., Seet, H. L., dan Lu, L., 2003: *Enhancement of Giant Magnetoimpedance Effect of Electroplated NiFe/Cu Composite Wires by DC Annealing*, J. Appl. Phys. Num12. Vol 94
- Omar, M. A., 1975: *Elementary Solid State Physics*, Addison Wesley Publishing Company. Inc
- Sclater, N., 1999: *Electronic Technology Handbook*, Mc Graw Hill, New York
- Smallman, R. E., Bishop, R. J., 2000: *Metalurgi Fisika Modern dan Rekayasa Material*, Edisi keenam, Erlangga, Jakarta
- Tatang A. Taufik, 2000: *Teknologi Pelapisan Logam secara Listrik*, Website: <http://www.Iptek.net.Id>

LAMPIRAN

Lampiran 1

Perhitungan parameter kisi

Untuk menghitung parameter kisi digunakan Persamaan 2.8, di mana

$$a = d_{hkl} \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

1. Sampel 1 (T= 28 °C; t= 90 s)

Perlakuan	2θ (°)	hkl	d _{hkl} (Å)	a (Å)
Sebelum <i>annealing</i>	44,133	111	2,050	3,551
	51,217	200	1,782	3,576
	74,831	220	1,268	3,586
<i>Annealing</i> 100 °C	43,905	111	2,060	3,569
	50,998	200	1,789	3,579
	74,626	220	1,271	3,594
<i>Annealing</i> 150 °C	43,959	111	2,058	3,565
	51,060	200	1,787	3,575
	74,682	220	1,270	3,592

2. Sampel 2 (T= 50 °C; t= 90 s)

Perlakuan	2θ (°)	hkl	d_{hkl} (Å)	a (Å)
Sebelum <i>annealing</i>	44,035	111	2,055	3,559
	51,124	200	1,785	3,570
	74,739	220	1,269	3,590
<i>Annealing</i> 100 °C	43,889	111	2,061	3,570
	50,991	200	1,271	3,579
	74,623	220	1,789	3,594
<i>Annealing</i> 150 °C	43,850	111	2,063	3,573
	50,955	200	1,791	3,581
	74,579	220	1,271	3,596

Lampiran 2

Perhitungan magnetoresistansi

1. Pengukuran resistansi

A. Sampel 1 (T=28⁰C, t=90s)

1. Sebelum *annealing*

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
-0,0024	0,0	-0,0027	0,0	-0,0029	0,0
1,0074	1,0	1,0071	1,0	1,0070	1,0
2,0173	2,1	2,0172	2,0	2,0169	2,0
3,0271	3,2	3,0274	3,1	3,0271	3,1
4,0402	4,3	4,0402	4,1	4,0400	4,1
5,0505	5,4	5,0505	5,2	5,0503	5,1

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
-0,0031	0,0	-0,0034	0,0	-0,0036	0,0	-0,0037	0,0
1,0068	1,0	1,0066	1,0	1,0063	1,0	1,0062	1,0
2,0168	2,0	2,0166	2,0	2,0164	2,0	2,0162	2,0
3,0271	3,0	3,0269	3,0	3,0267	3,0	3,0266	3,0
4,0400	4,0	4,0399	4,0	4,0396	4,0	4,0395	4,0
5,0503	5,1	5,0502	5,1	5,0501	5,1	5,0500	5,1

2. Setelah *annealing* 100 °C

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
-0,0032	0,0	-0,0035	0,0	-0,0036	0,0
1,0062	1,0	1,006	0,9	1,0059	0,9
2,0157	2,1	2,0156	1,9	2,0154	1,9
3,0254	3,1	3,0255	2,9	3,0254	2,9
4,0378	4,2	4,0379	3,9	4,038	3,9
5,0476	5,2	5,0479	4,9	5,048	4,8

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
-0,0037	0,0	-0,004	0,0	-0,004	0,0	-0,0042	0,0
1,0058	0,9	1,0056	0,9	1,0056	0,9	1,0055	0,9
2,0154	1,9	2,0153	1,9	2,0151	1,8	2,0151	1,8
3,0254	2,8	3,0253	2,8	3,0251	2,8	3,0251	2,8
4,0379	3,8	4,0380	3,8	4,0378	3,7	4,0378	3,7
5,0479	4,8	5,0480	4,7	5,0479	4,7	5,0478	4,7

3. Setelah *annealing* 150 °C

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
-0,0035	0,0	-0,0037	0,0	-0,0038	0,0
1,0068	0,2	1,0066	0,2	1,0066	0,2
2,0171	0,4	2,017	0,4	2,0171	0,5
3,0278	0,7	3,0278	0,7	3,0277	0,7
4,0411	1,0	4,0411	1,0	4,0411	1,0
5,0519	1,3	5,052	1,2	5,052	1,2

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
0,0	0,0	-0,0039	0,0	-0,0039	0,0	-0,0039	0,0
0,2	0,2	1,0065	0,2	1,0065	0,2	1,0065	0,2
0,5	0,5	2,0168	0,5	2,0168	0,5	2,0168	0,5
0,7	0,7	3,0276	0,7	3,0276	0,7	3,0276	0,7
1,0	1,0	4,041	0,9	4,041	0,9	4,0410	0,9
1,2	1,2	5,0519	1,2	5,0519	1,2	5,0519	1,2

B. Sampel 2 ($T= 50^0C$; $t= 90s$)

1. Sebelum *annealing*

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
0,000	0,0	0,0000	0,0	0,0003	0,0
1,0068	3,3	1,0068	1,0	1,0065	3,3
2,0137	6,7	2,0136	2,0	2,0134	6,6
3,0208	10	3,0208	3,1	3,0205	9,9
4,0306	13,4	4,0305	4,1	4,0303	13,3
5,0378	16,7	5,0376	5,2	5,0375	16,6

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
0,0006	0,0	0,0008	0,0	0,00014	0,0	-0,0015	0,0
1,0062	3,3	1,00600	3,3	1,0055	3,3	1,0054	3,3
2,0131	6,6	2,0129	6,6	2,0124	6,6	2,0123	6,6
3,0203	9,9	3,0201	9,9	3,0197	9,9	3,0196	9,9
4,0303	13,3	4,0300	13,3	4,0295	13,3	4,0294	13,3
5,0373	16,6	5,0372	16,6	5,0368	16,6	5,0367	16,6

2. Setelah *annealing* 100^0C

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
-0,0046	0,0	-0,0046	0,0	-0,0048	0,0
1,0043	1,3	1,0043	1,3	1,0043	1,3
2,0133	2,8	2,0133	2,6	2,0133	2,6
3,0227	4,2	3,0227	4,0	3,0227	4,0
4,0346	5,6	4,0346	5,4	4,0347	5,3
5,0441	6,9	5,044	6,7	5,0442	6,6

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
-0,0048	0,0	-0,0049	0,0	-0,0049	0,0	0,0	0,0
1,0042	1,3	1,004	1,2	1,0041	1,2	1,2	1,2
2,0132	2,6	2,0132	2,6	2,0132	2,6	2,6	2,6
3,0227	4,0	3,0227	4,0	3,0227	4,0	4,0	4,0
4,0347	5,2	4,0348	5,2	4,0348	5,2	5,2	5,2
5,0441	6,6	5,0443	6,5	5,0443	6,5	6,5	6,5

3. Setelah *annealing* 150 °C

B= 0		B= 1 (mT)		B= 2 (mT)	
I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)	I (mA)	V (mV)
-0,004	0,0	-0,0042	0	-0,0043	0,0
1,0064	0,3	1,0063	0,3	1,0062	0,3
2,0168	0,7	2,0168	0,7	2,0166	0,7
3,0277	1,1	3,0275	1,1	3,0276	1,0
4,0410	1,5	4,0410	1,5	4,041	1,5
5,052	1,9	5,052	1,8	5,0519	1,8

B= 3 (mT)		B= 4 (mT)		B= 5 (mT)		B= 6 (mT)	
I (mA)	V (mV)						
-0,0044	0,0	-0,0046	0,0	-0,0049	0,0	-0,0048	0,0
1,0061	0,3	1,0061	0,3	1,0041	0,3	1,0058	0,3
2,0165	0,7	2,0165	0,7	2,0132	0,7	2,0163	0,7
3,0274	1,0	3,0274	1,0	3,0227	1,0	3,0272	1,0
4,041	1,5	4,0409	1,5	4,0348	1,5	4,0407	1,5
5,0519	1,8	5,0519	1,7	5,0443	1,7	5,0517	1,7

Nilai resistansi lapisan tipis NiFe

1. Sampel 1 (T= 28 °C; t= 90 s)

Sebelum <i>annealing</i>		Setelah <i>annealing</i> °100 C		Setelah <i>annealing</i> 150°C	
B (mT)	R(ohm)	B (mT)	R(ohm)	B (mT)	R(ohm)
0	1,0750	0	1,0353	0	0,2623
1	1,0292	1	0,9759	1	0,2474
2	1,0150	2	0,9617	2	0,244
3	1,0121	3	0,9504	3	0,2355
4	1,0121	4	0,9361	4	0,2355
5	1,0121	5	0,9306	5	0,2355
6	1,0121	6	0,9306	6	0,2355

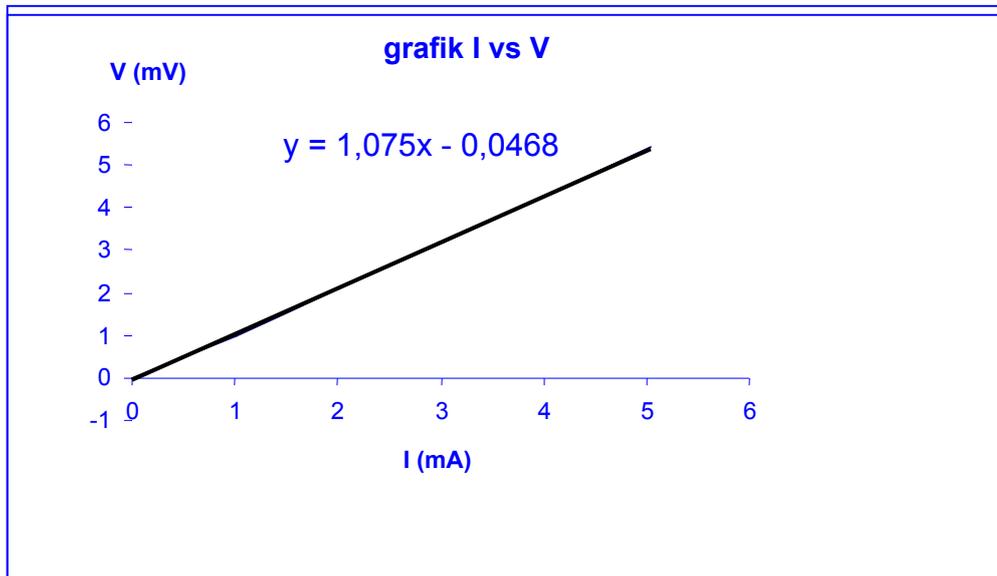
2. Sampel 2 ($t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 90\text{ s}$)

Sebelum <i>annealing</i>		Setelah <i>annealing</i> $100\text{ }^{\circ}\text{C}$		Setelah <i>annealing</i> $150\text{ }^{\circ}\text{C}$	
B (mT)	R(ohm)	B (mT)	R(ohm)	B (mT)	R(ohm)
0	3,320053	0	1,3812	0	0,3821
1	3,30033	1	1,3358	1	0,3682
2	3,298153	2	1,3128	2	0,3661
3	3,297066	3	1,3046	3	0,3661
4	3,297066	4	1,2994	4	0,353
5	3,297066	5	1,2994	5	0,353
6	3,297066	6	1,2994	6	0,353

3. Perhitungan untuk mencari nilai resistansi

Nilai resistansi diperoleh dengan membuat grafik persamaan linier dengan nilai I sebagai sumbu x dan nilai V untuk sumbu y sehingga gradien kemiringan dari grafik merupakan nilai resistansi. Sebagai contoh diambil dari sampel 1 ($T = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = 90\text{ s}$) sebelum di-*annealing* pada saat tanpa medan.

I (mA)	V (mV)
-0,0024	0,0
1,0074	1,0
2,0173	2,1
3,0271	3,2
4,0402	4,3
5,0505	5,4



4. Perhitungan rasio magnetoresistansi

Berdasarkan dari sampel 1 untuk kondisi sebelum *annealing* nilai rasio resistansi diperoleh dengan cara:

$$R_s = \frac{R_{(H=0)} - R_{(H=c)}}{R_{(H=0)}} \times 100\%$$

$$= \frac{1.0750 - 1.0121}{1.0750}$$

$$= 5,85 \%$$

Lampiran 3

Joint on Committee Powder Diffraction Standart Nickel Iron

