



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

28760/14/07



RSFi
539.722 2
M411
p-1
2007

TUGAS AKHIR - SF 1380

**PENGARUH IMPLANTASI ION NIKEL DAN TEMBAGA
TERHADAP KEAMORFAN DAN KEKERASAN BAHAN
GELAS METALIK BERBASIS ZIRKONIUM**

Fatimatul Munawaroh
NRP 1103 100 013

Dosen Pembimbing
Dr. Triwikantoro, M.Sc.
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T., APU

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	28 - 2 - 2007
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	227471

JURUSAN FISIKA
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

FINAL PROJECT - SF 1380

**INFLUENCE OF NICKEL AND COPPER ION
IMPLANTED ON THE AMORPHIZATION AND
HARDNESS PROPERTIES OF METALLIC GLASS
ZIRKONIUM BASED**

Fatimatul Munawaroh
NRP 1103 100 013

Advisor
Dr. Triwikantoro, M.Sc.
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T., APU

PHYSICS DEPARTMENT
Mathematics and Science Nature Faculty
Institut Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

**PENGARUH IMPLANTASI ION NIKEL DAN TEMBAGA
TERHADAP KEAMORFAN DAN KEKERASAN BAHAN
GELAS METALIK BERBASIS ZIRKONIUM**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Bahan
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FATIMATUL MUNAWAROH
NRP. 1103 100 013

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr. Triwikantoro, M.Sc.  (Pembimbing I)
2. Drs. BA Tjipto Sujitno, M.T., APU  (Pembimbing II)



SURABAYA
Februari, 2007

**PENGARUH IMPLANTASI ION NIKEL DAN TEMBAGA
TERHADAP KEAMORFAN DAN KEKERASAN BAHAN
GELAS METALIK BERBASIS ZIRKONIUM**

Nama : Fatimatul Munawaroh
NRP : 1103 100 013
Jurusan : Fisika FMIPA ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Triwikantoro, M.Sc.
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T., APU

Abstrak

Telah dilakukan implantasi ion Ni pada $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan Cu pada $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ untuk mengetahui keamorfian dan kekerasan. Implantasi dilakukan pada dosis ion $0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm² - $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² dan energi 100 keV. Analisis perubahan keamorfian dilakukan menggunakan pola difraksi sinar X, uji kekerasan menggunakan microhardness Tester dan karakterisasi termal menggunakan DSC (Diferensial Scanning Calorimetry). Berdasar analisis pola difraksi Implantasi ion Ni dan ion Cu dengan dosis ion yang meningkat mengakibatkan penurunan dan peningkatan fasa amorfnya yang ditunjukkan dengan adanya penurunan dan peningkatan intensitas latar pada pola difraksi Sinar X. Hasil uji kekerasan menunjukkan semakin besar dosis semakin tinggi nilai kekerasannya. Dan hasil DSC menunjukkan terjadinya pergeseran nilai T_g dan T_x bahan ZrCuAl setelah diimplantasi ion Ni pada dosis $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² yaitu dari $398,6^{\circ}C$ ke $281,02^{\circ}C$ untuk nilai T_g dan dari $446,5^{\circ}C$ ke $435,9^{\circ}C$ untuk nilai T_x .

Kata kunci: gelas metalik, implantasi ion, keamorfian, kekerasan

**INFLUENCE OF NICKEL AND COPPER ION
IMPLANTED ON THE AMORPHIZATION AND
HARDNESS PROPERTIES OF METALLIC GLASS
ZIRKONIUM BASED**

Name : Fatimatul Munawaroh
NRP : 1103 100 013
Department : Fisika FMIPA-ITS
Advisor : Dr. Triwikantoro, M.Sc.
Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T., APU

Abstract

Implantation of Nickel ion onto $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ and Copper ion onto $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ has been carried out to observe the amorphization and hardness properties. Implantation has been done at ion doses from $0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm² - $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² and at energy 100 keV. Analysis of the amorphization was done using X-rays diffraction pattern (XRD), hardness testing using microhardness tester and thermal characterization using Diferensial Scanning Calorimetry (DSC). Based on X-rays diffraction pattern analysis, ion Ni and Cu implanted with ion doses increase result decrease and increase its fase amorph that showed decrease and increase background intensities of X-rays diffraction pattern. The result microhardness test showed that the hardness properties increase with accumulation of ion dose. And the result of DSC showed that created moving up value of T_g and T_x at $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ was implanted ion Nickel at dose $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² from 398^0C to $281,02^0C$ for T_g value and from $446,5^0C$ to $435,9^0C$ for T_x value.

Keyword: metallic glass, ion implantation, amorphization, hardness

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Implantasi Ion Ni dan Cu terhadap keamorfan dan kekerasan Bahan Gelas Metalik Berbasis Zirkonium”**. Naskah tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program Strata-1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas terselesainya naskah tugas akhir ini, kepada :

1. Bapak Dr. Triwikantoro, M.Sc. selaku dosen pembimbing sekaligus sebagai ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS atas semua bimbingan, nasehat, saran, dukungan dan kesabarannya.
2. Bapak Drs. B.A. Tjipto Sujitno, M.T. , APU selaku pembimbing penelitian dan penulisan tugas akhir Di PTAPB BATAN Yogyakarta , yang telah banyak meluangkan waktunya.
3. Bapak Prof. Drs. Sudjatmoko, SU selaku kepala PTAPB BATAN Yogyakarta.
4. Bapak Prof. Drs. Darsono, M.Sc. selaku kepala Bidang Akselerator PTAPB BATAN Yogyakarta.
5. Bapak Prof. Dr. Suasmoro, M.Sc. selaku Dekan FMIPA ITS Surabaya.
6. Bapak Dr. Darminto, M.Sc. selaku dosen wali atas segala nasihat dan motivasinya selama perkuliahan.
7. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si selaku Koordinator TA.
8. Bapak Al Sunarto, Ibu Elin, dan seluruh staf akselerator dan staf Dokil BATAN yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian.

9. Seluruh staf / Dosen, karyawan, dan karyawan Laboratorium Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah banyak menyalurkan ilmunya.
10. Bapak dan Ibuku tercinta, serta kakak-kakakku tersayang yang telah memberikan doa dan motivasi serta dukungan baik secara material dan spiritual.
11. Teman-teman Lab. Bahan, teman-teman angkatan 2003 dan semua mahasiswa Fisika FMIPA ITS.

Penulis menyadari bahwa naskah tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun sehingga dapat menyempurnakan kekurangan yang ada dalam naskah tugas akhir ini. Selain itu penulis juga berharap semoga naskah ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Februari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

Bab	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	vii
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xvii
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	4
Bab II Tinjauan Pustaka	5
2.1 Bahan Kristal	5
2.2 Bahan Amorf	5
2.3 Pembentukan Struktur gelas	6
2.4 Tinjauan Bahan	7
2.4.1 Nikel.....	7
2.4.2 Tembaga.....	8
2.5 Implantasi Ion	9
2.5.1 Pengertian Implantasi ion.....	9
2.5.2 Komponen Mesin Implantor Ion.....	10
2.5.3 Parameter Proses Implantasi.....	18
2.5.4 Kerusakan Radiasi Selama Implantasi.....	23
2.6 Kristalisasi.....	25
2.7 Difraksi sinar X	26
2.8 Kekerasan.....	27

Bab III Metodologi Penelitian	29
3.1 Peralatan dan Bahan	29
3.1.1 Peralatan.....	29
3.1.2 Bahan	29
3.2 Prosedur Kerja Penelitian.....	30
3.2.1 Preparasi Sampel	30
3.2.2 Proses Implantasi Ion	30
3.2.3 Pemanasan.....	31
3.2.4 Karakterisasi.....	31
3.2.5 Analisa Data	32
Bab IV Analisis Data dan Pembahasan	35
4.1 Analisis Implantasi Ion	35
4.2 Analisa Data DSC	38
4.3 Pengaruh Implantasi Ion dan Pemanasan terhadap Keamorfan dari Analisa Pola Difraksi Sinar X	39
4.4 Pengaruh Implantasi Ion terhadap Kekerasan Bahan.....	46
Bab V Kesimpulan dan Saran	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
Daftar Pustaka	51
Lampiran-lampiran	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Kurva pendingin padatan cair	7
Gambar 2.2 Skema struktur kulit atom nikel	8
Gambar 2.3 Skema struktur kulit atom tembaga.....	9
Gambar 2.4 Skema mesin implantor ion.....	10
Gambar 2.5 Skema susunan sumber ion tipe katoda panas	12
Gambar 2.6 Skema generator Cokroft Walton.....	13
Gambar 2.7 Prinsip kerja generator Cokroft Walton	14
Gambar 2.8 Skema kerja pompa rotary	15
Gambar 2.9 Skema kerja pompa difusi bertingkat.....	15
Gambar 2.10 Pola medan didalam tabung pemercepat	16
Gambar 2.11 Lintasan partikel didalam medan magnet.....	17
Gambar 2.12 Tampang lintang lintasan magnet pemisah	17
Gambar 2.13 Skema sistem penyapu berkas ion.....	17
Gambar 2.14 Mangkok faraday	18
Gambar 2.15 Bentuk lintasan ion dopan dalam suatu material	20
Gambar 2.16 Skema penyajian terjadinya pembentukan kerusakan radiasi.....	24
Gambar 2.17 Diagram skematik kerusakan beruntun Untuk (a) dosis rendah, (b) dosis tinggi	24
Gambar 2.18 Geometri difraksi sinar X pada kristal material	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	33
Gambar 4.1 Pengaruh dosis ion terhadap konsentrasi ion maksimum.....	28
Gambar 4.2 Data DSC sampel ZrCuAl yang diimplantasi ion Ni dengan dosis $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm ²	37
Gambar 4.3 Pola difraksi sinar X bahan ZrCuAl tanpa dan dengan implantasi ion Ni	38

Gambar 4.4	Pola difraksi sinar X bahan ZrNiAl tanpa dan dengan implantasi ion Cu	40
Gambar 4.5	Pola difraksi sinar X bahan ZrCuAl tanpa dan dengan implantasi ion Ni setelah dipanaskan 420 ⁰ C.....	41
Gambar 4.6	Pola difraksi sinar X bahan ZrNiAl tanpa dan dengan implantasi ion Cu setelah dipanaskan 420 ⁰ C.....	41
Gambar 4.7	Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis 0,5964x10 ¹⁶ ion/cm ²	42
Gambar 4.8	Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis 1,7892 x10 ¹⁶ ion/cm ²	45
Gambar 4.9	Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis 0,5964x10 ¹⁶ ion/cm ²	45
Gambar 4.10	Pengaruh dosis ion terhadap kekerasan bahan ZrCuAl dan ZrNiAl setelah implantasi ion Ni dan Cu	45

DAFTAR TABEL

Tabel		Halaman
Tabel 4.1	Parameter proses implantasi ion.....	35
Tabel 4.2	Dosis ion yang digunakan selama implantasi.....	36
Tabel 4.3	Konsentrasi ion maksimum pada sampel ZrCuAl dan ZrNiAl untuk berbagai variasi dosis	37
Tabel 4.4	Hasil Perhitungan prosentase perubahan fasa amorf sampel ZrCuAl dan ZrNiAl	43
Tabel 4.5	Data kekerasan sampel ZrCuAl dan ZrNiAl setelah diimplantasi ion Ni dan Cu variasi dosis ion	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada awal abad 21 hampir di semua bidang kehidupan telah banyak kemudahan yang dapat dirasakan oleh manusia. Hal ini berkat perkembangan IPTEK yang sangat pesat, termasuk IPTEK nuklir. Salah satu alat yang memanfaatkan IPTEK nuklir yaitu akselerator implantasi ion untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat dan kinerja industri.

Bermula dari permintaan pasar yaitu pada waktu para ahli fisika nuklir yang kesulitan dalam memproduksi target tritium yang berbentuk gas dan berbahaya, maka saat itu (sekitar tahun 1965) yang mampu menyelesaikan masalah tersebut adalah teknologi implantasi ion. Untuk memproduksi target tritium yang berwujud padatan maka tritium tersebut diionkan kemudian ditembakkan dan disimpan dalam tantalum yang berbentuk padatan. Alat yang digunakan untuk proses tersebut implantor ion, implantor ion untuk memproduksi neutron dinamakan *Generator Neutron*. Sejak sukses besar tersebut aplikasi implantor ion dikembangkan pada pembuatan komponen elektronik dan kini sudah mapan (Sujitno, 2006).

Aplikasi implantor ion tidak terbatas pada pembuatan komponen elektronika, tetapi dapat juga diaplikasikan dalam dunia material yaitu rekayasa bahan untuk meningkatkan unjuk kerja dari suatu bahan/komponen yang telah ada dengan cara menambahkan unsur dengan komposisi dan kedalaman tertentu. Sifat-sifat yang biasa ditingkatkan adalah sifat mekanik (kekerasan, ketahanan aus, gesek, umur kelelahan), sifat kelistrikan, sifat kemagnetan, sifat kimia (korosi dan oksidasi) maupun sifat optis (Sujitno, 2006).

Dewasa ini Zircalloy banyak digunakan. Salah satunya digunakan sebagai kelongsong bahan bakar nuklir (*cladding*

tube). Zirkonium alloy dipilih karena bahan ini memiliki sifat tahan korosi terhadap air dan uap air, kekuatan mekaniknya tinggi, luas tampang serap neutronnya rendah dan titik lelehnya tinggi. Didalam reaktor nuklir kelongsong bahan bakar nuklir ini senantiasa dalam keadaan teradiasi. Kondisi ini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya "hydriding". Apabila proses "hydriding" ini berkelanjutan, tabung Zircalloy akan mengalami penurunan sifat mekanisnya (Lestiani, 2003). Telah diketahui bahwa untuk mencegah terjadinya pembentukan hidrida bisa dilakukan dengan memodifikasi karakteristik permukaan material, yaitu dengan teknik implantasi ion (Lestiani, 2005).

Dalam penelitian ini menggunakan teknik implantasi ion pada paduan bahan gelas metalik berbasis Zirkonium diharapkan teramati perubahan keamorfan bahan yang terimplantasi dan kekerasannya meningkat. Percobaan ini dilakukan pada energi ion yang konstan dan dosis ion divariasikan. Teknik ini dipilih karena mempunyai beberapa keunggulan yaitu proses dapat dikerjakan pada temperatur kamar sehingga timbulnya *thermal stress* dapat dihindari, tidak ada perubahan dimensi yang berarti dari material/komponen yang diperlakukan, prosesnya lebih cepat, tidak perlu perlakuan lagi, kedalaman penyisipan maupun distribusi atom dapat dikendalikan secara akurat, dan kemurnian atom sisipan dapat dipilih secara akurat. Sedangkan kelemahannya adalah teknologinya sangat kompleks dan harganya mahal (Sujitno, 2006).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah :

1. Keamorfan bahan gelas metalik berbasis Zirkonium yaitu $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ setelah diimplantasi ion Ni dan $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ setelah diimplantasi ion Cu.
2. Pengaruh implantasi ion terhadap kekerasan bahan dan nilai T_g dan T_x $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ setelah diimplantasi ion Ni pada dosis $2,9820 \times 10^{16}$ ion/cm².

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak terlalu luas maka perlu ada batasan masalah yang akan dianalisis, yaitu:

1. Implantasi ion Ni dilakukan pada $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan ion Cu pada $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ dengan dosis ion yang bervariasi dari $0,2982 \times 10^{16}$ ion/cm² - $2,9820 \times 10^{16}$ ion/cm².
2. Analisis difokuskan pada pengaruh implantasi pada keamorfan dan kekerasan bahan $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$. Serta pengaruh implantasi ion Ni pada nilai T_g dan T_x bahan $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ pada dosis $2,9820 \times 10^{16}$ ion/cm².

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui keamorfan dan kekerasan bahan gelas metalik berbasis Zirkonium yaitu $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ setelah diimplantasi ion Ni dan $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ setelah diimplantasi ion Cu dan pengaruh implantasi ion Ni pada nilai T_g dan T_x bahan $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ pada dosis $2,9820 \times 10^{16}$ ion/cm².

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari Abstrak, Bab I adalah pendahuluan yang berisi Latar Belakang Penelitian, Perumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, dan Sistematika Penulisan. Bab II adalah Tinjauan Pustaka yang berisi tentang teori-teori yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian ini. Bab III adalah Metodologi Penelitian yang berisi tempat penelitian, peralatan dan bahan penelitian, dan prosedur penelitian. Bab IV adalah Analisa Data dan Pembahasan berisi analisis hasil penelitian. Bab V adalah Kesimpulan dan



Saran berisi Kesimpulan hasil penelitian dan saran dari hasil penelitian, Daftar Pustaka serta lampiran-lampiran.

1.6 Manfaat Penelitian

Sebagai dasar penelitian selanjutnya, untuk mengetahui bagaimana efek implantasi ion terhadap keamorfan dan sifat mekaniknya untuk bahan gelas metalik. Karakter ini dapat digunakan dalam meningkatkan struktur permukaan bahan amorf berbasis Zirkonium yang biasa digunakan dalam sistem reaktor nuklir.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bahan padat dapat diklasifikasikan berdasar keteraturan susunan atom-atom atau ion-ion penyusunnya. Bahan yang tersusun oleh deretan atom-atom yang teratur letaknya berjangkauan panjang dan berulang (*periodik*) disebut bahan *kristal*. Sebaliknya, zat padat yang tidak memiliki keteraturan demikian disebut bahan *amorf* atau *bukan kristal* (Darminto, 2006).

2.1 Bahan Kristal

Bahan kristal, yang selanjutnya cukup disebut kristal (saja), dapat dibentuk dari larutan, lelehan, uap, atau gabungan dari ketiganya. Bila proses pertumbuhannya lambat, atom-atom atau partikel-partikel penyusun zat padat dapat menata diri selama proses tersebut untuk menempati posisi yang sedemikian sehingga energi potensialnya minimum. Keadaan ini cenderung membentuk susunan yang teratur dan juga berulang pada arah tiga dimensi, sehingga terbentuklah keteraturan susunan atom dalam jangkauan panjang, dan inilah yang mencirikan keadaan kristal (Darminto, 2006).

Pada hakekatnya semua logam, sebagian besar material keramik, dan beberapa polimer tertentu terkristalisasi ketika mereka memadat. Bagi orang awam, kata *kristal* mengandung makna suatu material yang memiliki permukaan, transparan, bahkan bernilai tinggi (Van Vlack, 2001).

2.2 Bahan Amorf

Pada bahan amorf, proses pematatannya berlangsung cepat, atom-atom tidak mempunyai cukup waktu untuk menata diri dengan teratur. Hasilnya, terbentuklah susunan yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi. Susunan atom ini umumnya

hanya mempunyai keteraturan yang berjangkauan terbatas, dan keadaan inilah yang mencerminkan keadaan amorf. Dalam bahan amorf, jangkauan keteraturan atom biasanya sampai tetangga kedua (Darminto, 2006).

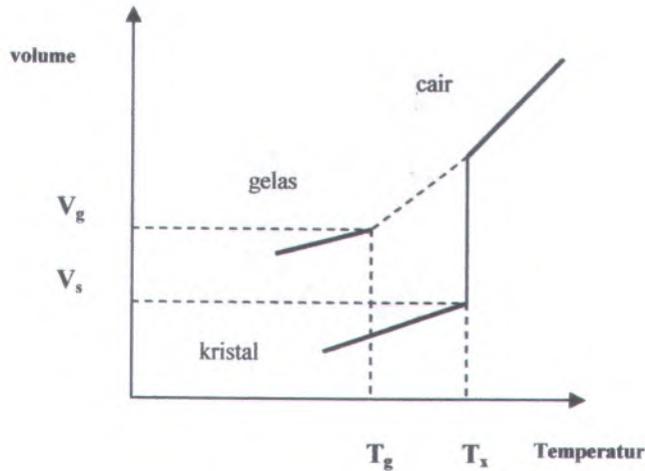
2.3 Pembentukan Struktur Gelas

Gelas metalik adalah metal yang memiliki struktur amorf dan secara termodinamik metastabil. Struktur ini ditandai dengan adanya titik transisi yaitu titik transisi gelas (T_g) dan dapat disintesis dari fasa cairnya melalui pendinginan yang sangat cepat atau metode pemadatan cepat. Kurva pendinginan padatan dari fasa cairnya dapat dilihat pada Gambar 2.1. Transformasi dari fasa cair ke fasa padat untuk daerah padatan kristal maupun amorf bergantung pada laju pendinginan ($\Delta T / \Delta t$).

Berdasarkan kurva pendinginan, laju pendinginan tidak hanya terjadi pada satu titik, melainkan suatu daerah. Perbedaan laju pendinginan akan menjadikan T_g berubah. T_g yang berubah-ubah ini akan mengakibatkan T_g berada pada suatu daerah. Secara atomik susunan gelas adalah atom-atom yang tersusun secara periodik dan berjangkauan pendek dan mempunyai distribusi pola difraksi yang kontinyu. Sedangkan untuk susunan atom kristal, berjangkauan panjang dan ketergantungan viskositas terhadap suhu tidak kontinyu. Beberapa parameter suatu material mempunyai kemampuan pembentukan struktur gelas yang baik, adalah (Inoue, 2003), yaitu:

1. Paduan terdiri lebih dari 3 elemen penyusun
2. Perbedaan ukuran atom elemen penyusun lebih besar dari 12%
3. Panas pencampuran antara elemen pembentuk paduan harus negatif ($\Delta G < 0$)

Jika bahan gelas metalik diberi perlakuan panas, maka energi bahan akan bertambah. Pertambahan energi ini dipakai bahan untuk transformasi dari amorf menuju kristal (Gambar 2.1). Transformasi yang dihasilkan bisa kristalisasi sebagian ataupun penuh.



Gambar 2.1 Kurva Pendingin padatan cair

2.4 Tinjauan Bahan

2.4.1 Nikel

Nikel merupakan logam transisi dengan symbol 'Ni', jumlah proton/elektron 28 dengan jumlah neutron 31 dalam inti atom. Nikel mempunyai massa atom 58,6934 g/mol, pada temperatur 20°C mempunyai berat jenis 8,91 g/cm³. Titik didihnya pada temperatur 1453°C dan titik leburnya pada 2732°C.

Nikel ditemukan oleh Cronstedt pada tahun 1751 dan nama nikel berasal dari bahasa Jerman yaitu "kupfernickel" yang artinya "false copper (tembaga palsu)". Biasanya nikel digunakan untuk paduan logam elektroplating dan baterai nikel – kadmium.

Struktur Atom



Gambar 2.2 Skema struktur kulit atom nikel
(Webelement.com, 2006)

Jumlah level energi : 4

- Level 1 : 2
- Level 2 : 8
- Level 3 : 16
- Level 4 : 2

Isotop-isotop

Nikel mempunyai beberapa isotop yang masing-masing mempunyai waktu paruh yang berbeda, antara lain Ni-56, Ni-57, Ni-58, Ni-59, Ni-60, Ni-61, Ni-62, Ni-63, Ni-64, dan Ni-65 (Chemicalement.com, 2006).

2.4.2 Tembaga

Tembaga merupakan logam transisi dengan symbol 'Cu' dan jumlah proton/elektron 29 dengan jumlah neutron 35 dalam inti atom. Tembaga mempunyai massa atom 63,546 g/mol dan pada temperatur 20°C berat jenisnya 8,92 g/cm³. Akan mendidih pada temperatur 1083,5°C dan melebur pada 2595°C.

Tembaga dikenal sejak waktu prasejarah dan nama tembaga berasal dari bahasa latin yaitu "*cyprium*", setelah ditemukan dipulau Cyprus. Biasanya tembaga digunakan untuk konduktor listrik, gelang, uang koin, dan plumbing.

Struktur Atom



Gambar 2.3 Skema struktur kulit atom tembaga
(Webelement.com, 2006)

Jumlah level energi : 4

- Level 1 : 2
- Level 2 : 8
- Level 3 : 18
- Level 4 : 1

Isotop-isotop

Tembaga mempunyai beberapa isotop yang masing-masing mempunyai waktu paruh yang berbeda-beda, antara lain Cu-61, Cu-62, Cu-63, Cu-64, Cu-65, dan Cu-67 (Chemicalement.com, 2006).

2.5 Implantasi Ion

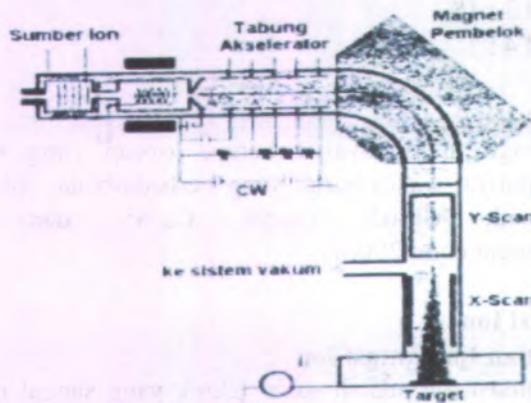
2.5.1 Pengertian Implantasi Ion

Implantasi ion adalah suatu teknik yang sangat menarik untuk mengubah sifat-sifat permukaan berbagai jenis bahan karena dengan teknik ini setiap unsur dapat diimplantasikan atau disisipkan. Jumlah ion yang terimplantasi dapat diatur dan dapat dilakukan pada suhu kamar. Dalam proses implantasi tersebut, ion-ion dengan energi tertentu masuk ke dalam permukaan bahan dan berinteraksi dengan bahan yang mengakibatkan perubahan komposisi dan struktur pada daerah dekat permukaan bahan (Sudjarmoko, 2000).

Jadi implantasi ion merupakan proses penambahan unsur asing (*dopan*) dengan cara menginjeksikan ion-ion dari suatu atom atau molekul ke dalam permukaan bahan target. Alat yang digunakan dalam proses implantasi ini disebut mesin implantor ion. Proses implantasi diawali dengan proses pengionan atom-atom atau molekul, pemercepatan dalam tabung akselerator oleh medan listrik, pemfokus oleh medan electromagnet kemudian menembakkannya ke permukaan bahan target (Sujitno, 2006).

2.5.2 Komponen Mesin Implantor Ion

Komponen-komponen dari mesin implantor ion meliputi sumber ion, sumber daya listrik tegangan tinggi, sistim hampa, sistim pemisah berkas ion, tabung pemercepat, penyapu berkas dan tempat target. Secara skematis mesin implantor ion disajikan pada Gambar 2.4.



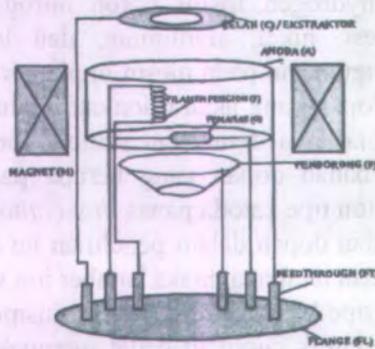
Gambar 2.4 Skema mesin implantor ion

a. Sistem Sumber Ion

Sumber ion merupakan komponen yang berfungsi untuk menghasilkan ion-ion dopan yang akan diimplantasikan pada

bahan target. Bahan dopan untuk keperluan implantasi dapat berupa gas (misal hydrogen, fosfor, boron, nitrogen) atau berupa padatan (misal besi, nikel, aluminium, dan lain-lain). Jenis sumber ion yang digunakan pada mesin implantor ion tergantung pada jenis bahan dopan yang akan diionkan. Untuk bahan dopan yang berupa gas biasanya digunakan sumber ion tipe Penning. Sedangkan untuk bahan dopan yang berupa padatan biasanya digunakan sumber ion tipe katoda panas (*hot cathode ion source*).

Karena bahan dopan dalam penelitian ini berupa padatan yaitu serbuk nikel dan tembaga, maka sumber ion yang digunakan adalah sumber ion tipe katoda panas. Pada prinsipnya sumber ion tipe katoda panas untuk cuplikan padat merupakan sumber ion tumbukan elektron. Cuplikan serbuk untuk bahan dopan diletakkan pada alumina. Kemudian filament berbentuk spiral yang dialiri arus dari sumber daya akan memanaskan dan menguapkan cuplikan. Dengan memberi tegangan antara anode dan katode, maka elektron yang terlepas dari katode dengan energi yang cukup akan menumbuk atom atau molekul uap bahan sehingga akan terionisasi. Akibat terjadinya ionisasi partikel-partikel didalam ruang ionisasi akan bercampur antara partikel netral, elektron bebas, dan ion. Selanjutnya ion-ion yang dihasilkan akan didorong keluar oleh elektroda pendorong yang diberi tegangan positif menuju celah sumber ion. Sumber ion juga dilengkapi dengan kumparan magnet untuk memperpanjang lintasan elektron bebas sehingga menambah jumlah ion yang terbentuk. Skema susunan sumber ion tipe katoda panas disajikan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema susunan sumber ion tipe katoda panas (Djoko, 2001)

b. Sumber Daya Listrik Tegangan Tinggi

Sumber daya listrik tegangan tinggi yang diperlukan pada pengoperasian implantor ion meliputi :

1. Tegangan tinggi 0 – 200 kV

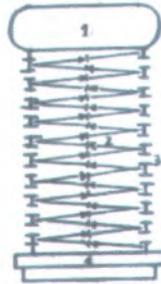
Tegangan ini digunakan sebagai tegangan pemercepat ion-ion dopan dalam tabung pemercepat. Untuk memperoleh tegangan sebesar itu biasanya digunakan generator Cockroft-Walton. Generator ini merupakan pelipat tegangan (*voltage multiplier*) yang terdiri dari generator pulsa, dioda tegangan tinggi (penyearah) dan kapasitor yang disusun secara bertingkat. Banyaknya tingkat disesuaikan dengan keluaran tegangan yang dikehendaki. Sepanjang kolom generator Cockroft-Walton terdapat gelang-gelang pembagi tegangan dari pipa tembaga yang berfungsi sebagai pelindung korona. Tegangan pada tabung akselerator diberikan dengan suatu kabel tegangan tinggi terisolasi. Salah satu ujung kabel dihubungkan dengan electrode tegangan tinggi pada generator Cockroft-Walton, dan ujung lainnya dihubungkan dengan terminal akselerator yang didalamnya terdapat peralatan sumber ion.

2. Tegangan tinggi 0-5 kV

Tegangan ini diperlukan untuk mengionisasi gas-gas dopan dalam sistem sumber ion. Dan dipasangkan pada anoda dan katoda sumber ion yang disebut juga tegangan anoda.

3. Tegangan tinggi 0 – 15 kV

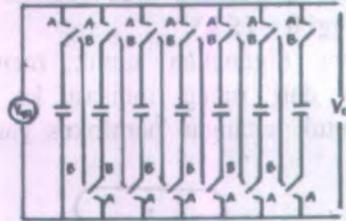
Tegangan ini digunakan untuk mendorong keluar (*ekstraktor*) ion-ion dari ruang ionisasi ke sistem tabung pemercepat, serta untuk tegangan pemfokus yang disebut juga tegangan ekstraktor.



Gambar 2.6 Skema generator Cockroft Walton

Pada prinsipnya Cockroft Walton adalah suatu pengganda tegangan, yaitu untai listrik yang terdiri dari dua buah kapasitor baris kanan oleh diode tegangan tinggi yang berfungsi sebagai saklar penyambung dan pemutus. Pada waktu semua kapasitor dimuati oleh sumber tegangan berfrekuensi tinggi dengan tegangan puncak V_m , terjadi hubungan paralel. Tegangan yang diberikan kepada kapasitor-kapasitor ini berasal dari suatu osilator yang disebut generator pulsa. Pada waktu digunakan untuk melucuti, kapasitor-kapasitor yang telah dimuati tersebut menjadi terhubung seri. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan skema penggandaan tegangan tersebut. Pada saat kapasitor dimuati, semua saklar S dipasang pada posisi A. Setelah semua kapasitor terisi hingga tegangan V_m , saklar berpindah ke posisi B untuk mulai melucuti. Sehingga, apabila banyaknya kapasitor pada masing-masing baris adalah n buah, akan diperoleh tegangan

keluaran sebesar $2nV_m$. Tegangan keluaran ini dapat mencapai orde kilovolt dan besar tegangan ini sekali lagi bergantung pada banyaknya kapasitor, frekuensi dan tegangan masukan.

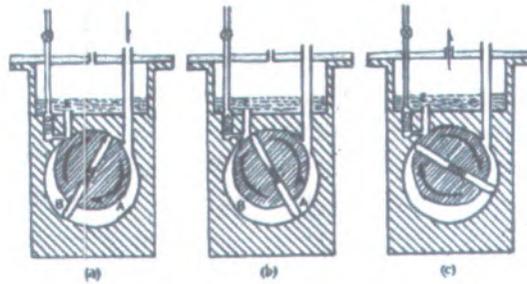


Gambar 2.7 Prinsip kerja Generator Cockroft Walton

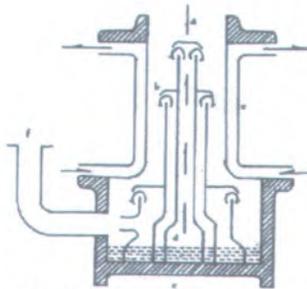
c. Sistem hampa

Sistim hampa merupakan peralatan yang berfungsi untuk menghampakan sistim implantor ion. Agar ion-ion dapat mencapai sasaran tanpa mengalami tumbukan dengan sisa molekul gas dalam sistim implantasi ion, maka sepanjang lintasan yang dilalui berkas ion dopan dari sistem sumber ion sampai ke sasaran harus dalam keadaan hampa.

Tingkat kehampaan yang diperlukan dalam sistem implantasi ion adalah dalam orde 10^{-5} - 10^{-6} torr. Untuk dapat mencapai tingkat kehampaan tersebut diperlukan 2 jenis pompa yaitu pompa rotary dan pompa difusi. Pompa rotary yang merupakan pemompaan tahap pertama mempunyai kemampuan penghampaan hingga 10^{-2} torr. Molekul-molekul gas yang terdapat didalam akselerator masuk ke dalam rongga antara stator dan rotor. Oleh perputaran katup sorong gas dipindahkan ke sisi rongga selanjutnya dimampatkan, akibatnya volume yang terbuka semakin kecil. Setelah tekanan udara luar dan tekanan oleh pegas katup saluran keluaran, maka saluran akan terbuka dan gas akan terdorong keluar. Sedangkan untuk penghampaan lanjut digunakan pompa difusi yang mempunyai kemampuan penghampaan hingga 10^{-6} torr.



Gambar 2.8 Skema kerja pompa rotary
 a. Gas masuk, b. Katap sorong bergeser, C. Katap saluran keluar terbuka



Gambar 2.9 Skema pompa difusi bertingkat

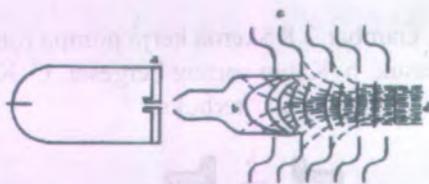
d. Tabung Akselerator

Tabung ini berfungsi sebagai pemercepat dan sekaligus pemfokus berkas ion. Ion yang dihasilkan oleh sumber ion akan dipercepat di dalam tabung akselerator sebelum diimplantasikan pada sasaran. Tabung pemercepat ini terbuat dari bahan keramik yang didalamnya berisi banyak elektrode dengan tegangan yang semakin negatif terhadap elektrode sebelumnya.

Medan listrik yang terbentuk di antara elektrode-elektrode akan membentuk bidang ekuiptensial yang dapat berfungsi memfokuskan selain mempercepat berkas partikel

bermuatan. Potensial pada elektrode diberikan melalui sistem pembagi tegangan yang terdiri dari beberapa tahanan. Antara elektrode timbul beda potensial yang besarnya hampir sama sehingga berkas ion mendapat penambahan energi yang hampir sama ketika melalui setiap elektrode.

Selain berfungsi sebagai pemercepat partikel bermuatan, tabung akselerator juga berfungsi sebagai penuntun, yaitu menjaga agar supaya partikel yang dipercepat dapat mencapai tujuan dan tidak hilang dalam lintasan yang dilewatinya.

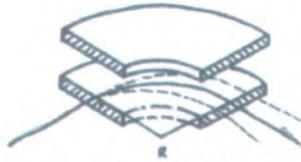


Gambar 2.10 Pola medan didalam tabung pemercepat
 a. Terminal, b. Garis ekuipotensial, c. Elektrode,
 d. Medan listrik

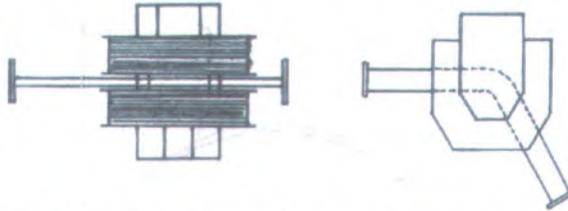
e. Sistem Pemisah Berkas Ion

Sistem pemisah berkas ion berfungsi sebagai alat untuk memisahkan berkas ion menurut massanya (m/z), sehingga ion-ion yang sampai target betul-betul ion yang diinginkan. Komponen utama dari sistem pemisah berkas ion tersebut adalah kumparan elektromagnet.

Prinsip kerja dari sistem pemisah berkas ion adalah berdasarkan hukum Lorentz. Lintasan ion di dalam medan magnet merupakan bagian dari lingkaran yang disebabkan oleh gaya Lorentz, sedangkan diluar medan magnet lintasan ion merupakan garis singgung pada lingkaran. Dengan mengatur besarnya kuat medan magnet akan dapat memisahkan ion dengan massa dan muatan tertentu pula.



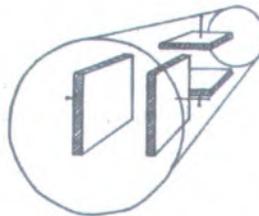
Gambar 2.11 Lintasan partikel didalam medan magnet



Gambar 2.12 Tampang lintang lintasan magnet pemisah sudut lintasan 60°

f. Sistem Penyapu Berkas Ion

Sistem penyapu berkas ion digunakan untuk memperoleh penyinaran berkas pada permukaan secara seragam (*uniform*). Sistem ini terdiri dari dua pasang lempeng aluminium yang dipasang saling tegak lurus, agar berkas ion tersebar merata pada permukaan target. Sepasang lempeng pertama sebagai penyapu berkas secara vertikal dan sepasang lempeng kedua sebagai penyapu berkas secara horisontal. Kedua pasang lempeng diberi tegangan yang dapat diubah-ubah dari nol hingga beberapa kilo volt.

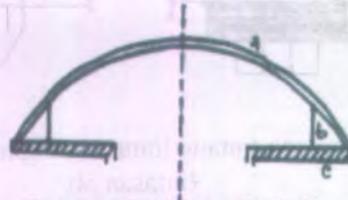


Gambar 2.13 Skema sistem penyapu berkas ion



g. Ruang Sasaran

Berkas ion dopan yang dihasilkan oleh sumber ion setelah dipercepat dalam tabung akselerator selanjutnya ditembakkan pada bahan target yang diimplantasi. Bahan tersebut ditempatkan pada ruang sasaran. Ruang tersebut terdiri dari tingkap (*aperture*), mangkok Faraday dan pegangan bahan yang akan diimplantasi. Untuk mengukur arus berkas ion dopan, mangkok Faraday dihubungkan dengan alat ukur *microampermeter*.



Gambar 2.14 Mangkok faraday

a. Kaca faraday, b. Kaca pendar, c. Elektroda

2.5.3 Parameter Proses Implantasi

Dalam aplikasinya, untuk mendapatkan hasil yang optimum, maka faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah; pertama parameter proses dan yang kedua adalah diagram fasa. Parameter proses meliputi energi (E), dosis/intensitas (D) dan jenis ion yang diimplantasikan maupun jenis material sasaran. Energi ion akan menentukan kedalaman penetrasi (*depth penetration*) atau jangkauan (*range*) ion terimplantasi, sedangkan dosis ion akan menentukan jumlah atau prosentase atau konsentrasi atom yang terimplantasi dalam material sasaran. Besarnya dosis ion ditentukan oleh nilai arus berkas (μA) maupun lamanya proses implantasi (detik). Pemilihan jenis ion maupun bahan target akan sangat menentukan sifat-sifat akhir yang diinginkan.

a. Energi ion (keV)

Besarnya energi ion diperoleh dari tegangan pemercepat yang terpasang pada tabung pemercepat. Energi kinetik berkas

ion akan menentukan kedalaman penembusan (*penetration depth*) juga akan menentukan profil distribusi konsentrasi ion-ion dalam material target. Besar kecilnya energi ion ini dapat dikontrol dengan mengatur besarnya tegangan tinggi yang terpasang.

b. Jangkau Ion (*Range*)/*Penetration Depth*

Berkas ion dengan energi awal E_0 (keV), dalam perjalanannya memasuki target sasaran karena berinteraksi dengan elektron maupun inti target akan kehilangan energinya dan akhirnya berhenti pada tempat tertentu. Besarnya kehilangan energi tersebut secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan (2.1),

$$\frac{dE}{dx} = \left(\frac{dE}{dx} \right)_e + \left(\frac{dE}{dx} \right)_n = N(S_e + S_n) \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan,

- N = rapat massa pusat hamburan dari bahan target
- S_e = daya henti elektronik
- S_n = daya henti nuklir

Jarak total yang ditempuh oleh ion dalam target dihitung pada saat ion masuk target sampai ion berhenti di suatu lokasi dalam kisi-kisi atom target disebut jangkau ion. Secara matematis jangkau ion dalam suatu bahan dapat ditulis dalam bentuk persamaan;

$$R_t = \frac{60(m_i + m_s)(z_i^{2/3} + z_s^{2/3})^{1/2}}{\rho m_i m_s} E \dots \dots \dots (2.2)$$

)
dengan,

- m_i = massa atom ion (amu, gram)
- m_s = massa atom target (amu, gram)
- z_i = nomor atom ion
- z_s = nomor atom target
- ρ = rapat massa target (g/cm^3)
- E = energi ion datang (keV)

Untuk keperluan teknis, didefinisikan suatu besaran jangkau ion yang searah dengan arah ion mula-mula (komponen R_t yang searah dengan arah ion mula-mula), dan besaran ini dinamakan jangkau terproyeksi (R_p). Perbandingan jangkau total dengan jangkau terproyeksi dinyatakan dengan persamaan (Dearnaley, et.al., 1973)

$$\frac{R_t}{R_p} = \frac{1}{4} \left\{ (5 + A) \frac{(1 + A)}{2A} \arccos \left(\frac{1 - A}{1 + A} \right) - 1 - 3A \right\} \dots \dots \dots (2.3)$$

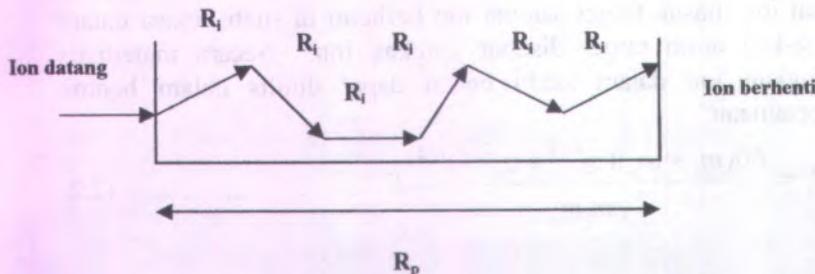
dengan $A = m_s/m_i$

Bila $m_s < m_i$, maka persamaan diatas dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$\frac{R_t}{R_p} = 1 + \frac{m_s}{3m_i} = 1 + \frac{A}{3} \dots \dots \dots (2.4)$$

Bentuk lintasan ion dopan dalam suatu material dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.15 :

$$R_t = \sum_1^i R_i \dots \dots \dots (2.5)$$



Gambar 2.15 Bentuk lintasan ion dopan dalam suatu material

Jumlah tumbukan dan perpindahan energi untuk setiap kali tumbukan adalah bersifat acak, sehingga suatu ion dopan dengan energi awal sama akan mempunyai jangkau yang berbeda.

Perbedaan jangkauan ini mengakibatkan adanya simpangan baku distribusi ion terproyeksi (σ_{Rp}). Besarnya simpangan baku tersebut adalah,

$$\sigma_{Rp} = \frac{3m_i + m_s}{4(m_i + m_s)} \left[\frac{m_i}{m_s} \right]^{1/2} R_p \dots\dots\dots(2.6)$$

c. Dosis Ion Yang Diimplantasikan

Dosis ion didefinisikan sebagai jumlah ion yang sampai pada permukaan target persatuan luasan berkas (ion/cm^2). Besaran ini akan menentukan jumlah atau prosentase ion yang terimplantasi. Nilai dosis ion ditentukan oleh besarnya arus berkas ion dan lamanya proses implantasi (detik). Dalam prakteknya nilai dosis ion dapat diatur melalui dua cara yaitu dengan memvariasi besarnya arus ion sedangkan waktunya tetap atau lamanya proses implantasi divariasi sedangkan arus berkas ion dibuat tetap. Nilai dosis ion secara matematis dapat dituliskan dalam persamaan (2.7),

$$D = \frac{It}{eA} \text{ ion}/\text{cm}^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan,

- I = arus berkas ion (ampere)
- t = lamanya proses implantasi (detik)
- A = luasan berkas (cm^2),
- e = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ coulomb)

d. Distribusi Konsentrasi Ion Terimplantasi

Proses perlambatan ion-ion yang bergerak dalam padatan merupakan proses statistik, oleh karena itu lokasi ion-ion yang terimplantasi bentuknya juga statistik dan profil distribusi ion pada kedalaman x memenuhi persamaan Gaussian. Distribusi tersebut disamping tergantung pada jangkauan ion terproyeksi juga tergantung pada dosis ion (D) dan simpangan baku (σ_{Rp}), yang secara matematis dapat dituliskan dalam bentuk persamaan (2.8),

$$N(x) = \frac{D}{\sqrt{2\pi\sigma_{Rp}}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(x - R_p)^2}{\sigma_{Rp}^2}\right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Secara perhitungan, jangkauan terproyeksi, simpangan baku, bentuk lintasan berkas ion maupun profil distribusi ion terimplantasi dapat dengan mudah dan cepat dihitung menggunakan program TRIM (*Transport Interaction into Materi*).

Untuk kedalaman $x = R_p$ maka persamaan (2.8) menjadi,

$$N_{maks} = \frac{D}{\sqrt{2\pi\sigma_{Rp}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Jadi pada kedalaman $x = R_p$, merupakan kedalaman dimana konsentrasi ion yang terimplantasi merupakan konsentrasi yang maksimum.

Pada kedalaman $x = R_p \pm \sigma_{Rp}$, maka konsentrasi ion yang terimplantasi tinggal 0,61 N_{maks} , atau sekitar 61 %.

Pada kedalaman $x = R_p \pm 2\sigma_{Rp}$, maka konsentrasi ion yang terimplantasi tinggal 0,14 N_{maks} , atau sekitar 14 %.

Pada kedalaman $x = R_p \pm 3\sigma_{Rp}$, maka konsentrasi ion yang terimplantasi tinggal 0,01 N_{maks} , atau sekitar 1 %.

e. Proses Difusi

Selama proses implantasi, maka sebagai akibat tumbukan berkas partikel, material target akan menjadi panas. Hal ini akan mengakibatkan difusinya atom-atom dopan ke lokasi yang lebih dalam. Parameter difusi yang utama meliputi suhu dan waktu. Parameter tersebut akan mempengaruhi prosentase, kedalaman maupun profil distribusi konsentrasi atom-atom/ion-ion didalam material target.

Kedalaman difusi atom-atom dopan dalam material target dapat dihitung melalui persamaan;

$$X = 2\sqrt{Dt} \dots\dots\dots(2.10)$$

D adalah koefisien difusi sebagai fungsi temperatur yang nilainya dapat dihitung melalui persamaan (2.11),

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan,

- D_0 = koefisien difusi mula-mula (m^2/s)
- Q = energi aktivasi atom yang berdifusi ($kJmol^{-1}$)
- R = tetapan gas universal ($8,3,14 J/mol.K$)
- T = temperatur dalam Kelvin
- t = lamanya proses (detik)

Profil distribusi konsentrasi atom-atom akibat proses difusi sebagai fungsi kedalaman dalam material target diberikan oleh persamaan (Grove,A.S),

$$N(x,t) = \frac{N_0}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left(-x^2/4Dt\right) \dots\dots\dots(2.12)$$

dengan

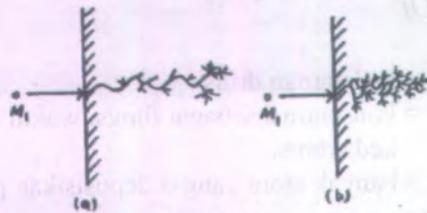
- x = kedalaman difusi
- $N(x,t)$ = konsentrasi sebagai fungsi waktu dan kedalaman
- N_0 = banyak atom yang dideposisikan persatuan luas

2.5.4 Kerusakan Radiasi Selama Implantasi

Energi ion yang dipindahkan ke atom-atom target pada umumnya cukup untuk memutuskan suatu ikatan kimia dan mengakibatkan pergeseran atom-atom target dari letak kisi asalnya. Atom-atom dapat tergeser dari letak kisinya bergantung pada energi dan massa ion yang diimplantasikan maupun massa atom target. Atom-atom yang tergeser tersebut juga dapat menggeser atom-atom yang lain sehingga mengakibatkan suatu tumbukan beruntun. Peristiwa ini mengakibatkan terjadinya akumulasi atom-atom vakansi dan intertisi (*cacat Frenkel*), maupun cacat kisi yang lebih kompleks sepanjang lintasan ion (*clusters*). Ion-ion yang lebih berat dapat memindahkan energinya

lebih besar pada atom-atom kisi dibandingkan dengan ion-ion yang lebih ringan. Atom-atom tersebut, sesuai dengan energinya dapat menambah jumlah pergeseran atom-atom kisi. Gambar 2.16 memperlihatkan pembentukan kerusakan radiasi yang diakibatkan oleh implantasi ion-ion ringan maupun ion-ion berat. Sedangkan Gambar 2.17 menampilkan diagram skematik kerusakan beruntun untuk (a) dosis rendah, dan (b) dosis tinggi.

Daerah yang mengalami kerusakan radiasi mulai tumpang tindih dengan bertambahnya dosis ion, dan akhirnya membentuk suatu lapisan amorf yang meluas hingga suatu kedalaman tertentu. Besarnya kerusakan radiasi dan distribusinya bergantung pada jenis ion, suhu, energi ion dan dosis ion. Sebagai suatu ukuran untuk konsentrasi kerusakan radiasi, pada umumnya digunakan sebagian energi yang dipindahkan ke atom target dalam membentuk tumbukan inti, atau jumlah vakansi yang dihasilkan.



Gambar 2.16 Skema penyajian terjadinya pembentukan kerusakan radiasi, (a) $M_1 < M_2$ (ion ringan), (b) $M_1 > M_2$ (ion berat)



Gambar 2.17 Diagram skematik kerusakan beruntun untuk (a) dosis rendah, (b) dosis tinggi

2.6 Kristalisasi

Paduan amorf secara mikroskopik tidak mempunyai batas butir, sehingga untuk menatanya agar menjadi pola yang teratur, dengan keteraturan yang berjangkauan panjang (struktur kristal), diperlukan suatu energi. Proses perubahan struktur material dari amorf menjadi kristal inilah yang disebut sebagai kristalisasi. Kristalisasi merupakan proses pembentukan kristal yang terjadi pada saat pembekuan yaitu perubahan dari fasa cair ke fasa padat. Dilihat dari mekanismenya, kristalisasi terjadi melalui dua tahap, yaitu nukleasi dan pertumbuhan kristal.

Dalam keadaan cair, atom-atom tidak memiliki susunan yang teratur, dan mudah bergerak. Dengan berkurangnya temperatur, maka energi atom semakin rendah, sehingga atom sulit bergerak, selanjutnya atom mulai mengatur kedudukannya relatif terhadap atom lain. Atom-atom ini akan membentuk kisi. Hal ini terjadi pada daerah yang relatif dingin, yang merupakan daerah awal terjadinya inti kristal. Dari proses pengintian selanjutnya terjadi pertumbuhan kristal.

Pertumbuhan kristal terjadi pada daerah temperatur rendah ke temperatur tinggi. Pertumbuhan ini tidak hanya bergerak lurus saja, tetapi mulai membentuk cabang-cabang dan ranting-ranting, atau yang disebut dengan struktur dendritik. Dendrit ini akan tumbuh terus ke segala arah, sehingga cabang atau ranting dendrit hampir bersentuhan dan sisa cairan yang terakhir akan membeku di sela-sela dendrit. Pertemuan satu dendrit kristal yang lainnya disebut batas butir (*grain boundary*) yang merupakan bidang yang membatasi dua atau lebih orientasi kristal. Batas butir merupakan tempat dimana terdapat ketidakteraturan atom.

Kristalisasi dapat terjadi dengan pengerjaan dingin maupun pengerjaan panas. Suatu padatan dikatakan mengalami pengerjaan dingin bila butir kristalnya berada dalam keadaan terdistorsi setelah mengalami deformasi plastik, sehingga di dalam kristal pada keadaan ini terdapat berbagai dislokasi setelah terjadi slip. Sebagai akibat dari pengerjaan dingin adalah sifat

kekerasan, kekuatan tarik dan tahanan listrik akan naik, sedangkan keuletan akan menurun. Selain itu, juga terjadi peningkatan jumlah dislokasi yang besar pada bidang kristalografi tertentu akan mengalami distorsi yang hebat (Louzguine, 2000).

Sebagian energi yang diberikan untuk mendeformasi paduan ini dikeluarkan dalam bentuk panas, dan sisanya akan tetap tersimpan dalam struktur kristal sebagai energi dalam (tegangan dalam) terkait dengan cacat kristal yang terjadi sebagai akibat deformasi. Dengan kata lain, paduan yang mengalami pengerjaan dingin akan menyimpan sejumlah tegangan dalam sebagai akibat terjadinya sejumlah besar dislokasi.

2.7 Difraksi Sinar X

Difraksi sinar X merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengetahui struktur suatu bahan dengan mengukur besarnya intensitas yang dipancarkan. Metode yang digunakan untuk mengetahui fasa yang terdapat pada sampel adalah dengan membandingkan fasa yang terdapat di dalam ASTM atau dengan membandingkan pola difraksi bahan standart yang sudah diketahui.

Sinar X merupakan bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi tinggi dan panjang gelombang pendek. Ketika sinar X mengenai suatu bahan padat, maka sebagian sinarnya akan dipantulkan oleh atom-atom yang terdapat didalam bahan.

Syarat terjadinya difraksi pada kristal tergantung pada panjang gelombang radiasi (λ), jarak antar bidang atom-atom (d), dan berkas sudut datang (θ). Syarat ini biasa dinamakan Hukum Bragg :

$$2d \sin \theta = n\lambda \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan,

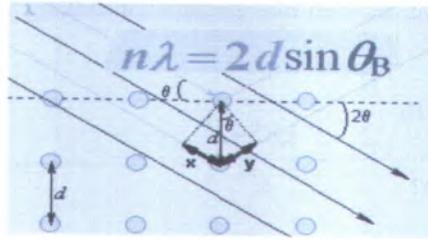
d = jarak bidang antar kristal (\AA)

θ = sudut Bragg ($^{\circ}$)

λ = panjang gelombang radiasi (\AA)

Untuk pasangan nilai d dan λ tertentu, ada beberapa nilai θ yang memenuhi terjadinya difraksi.

Meninjau sebuah kristal dan kisinya, bisa ditunjukkan adanya banyak bidang berbeda dengan jarak antar bidang yang berbeda hanya pada satu kisi tersebut (lihat Gambar 2.18). (Pratapa, 2006)



Gambar 2.18 Geometri difraksi sinar X pada kristal material

Posisi atom dalam suatu unit sel mempengaruhi intensitas tetapi tidak langsung dari berkas-berkas yang dihamburkan. Intensitas dari berkas-berkas yang dihamburkan bisa berubah, dengan mengubah posisi atom. Dan sebaliknya, posisi atom bisa ditentukan dengan mengamati intensitas yang dihamburkan (Cullity, 2001).

2.8 Kekerasan

Sifat mekanik suatu material mencerminkan hubungan antara deformasi dengan beban atau gaya yang diterapkan. Perilaku sifat mekanik ini sangat penting seperti kekerasan, kekuatan, kekenyalan dan ketangguhan bahan. Kekerasan merupakan sifat mekanik yang menunjukkan ukuran kemampuan material pada titik tertentu dalam menerima pembebanan eksternal. Secara kualitatif kekerasan suatu material dengan skema yang dikenal dengan skala Mohs. Dengan jangkauan antara 1 sampai 10. Skala 1 menunjukkan material yang lunak dan skala 10 menunjukkan material yang keras.

Diantara sekian banyak teknik pengujian kekerasan, yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji kekerasan Vickers. Di dalam pengujian ini beban terpakai dengan penakik piramida

yang sangat kecil menghasilkan jejak dengan pengamatan dan pengukuran dibawah mikroskop yang berbentuk bujur sangkar dan sudut puncak 136° . Bilangan kekerasan Vickers dinyatakan dengan HVN (*Hardness Vckers Numbers*) dan sama dengan besar beban (P) dibagi dengan luas permukaan bidang yang diindentasi (Callister, 1985).

$$HVN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{d^2} = \frac{1,854P}{d^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bidang Teknologi Akselerator dan Fisika Nuklir (BTA FN) Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB) – Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta untuk preparasi sampel dan implantasi ion. Sedangkan untuk Difraksi sinar-X dilaksanakan di Laboratorium Dasar Bersama (LDB) UNAIR Surabaya. Pemanasan dan uji kekerasan dilaksanakan di Laboratorium Karakterisasi Bahan jurusan Fisika FMIPA ITS Surabaya. Dan analisa termal dilakukan di Laboratorium Uji Polimer LIPI Bandung.

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1 set alat pencuci gelombang ultrasonik,
- 1 set implantor ion,
- 1 set alat Difraksi sinar-X,
- 1 set alat Vickers Hardness Tester, dan
- 1 set alat DSC
- Electrical furnace

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- bahan amorf $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$, (Triwikantoro, 2001),
- serbuk Ni,
- serbuk Cu,
- aseton,
- plastik klip

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Preparasi Sampel

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bahan target dan bahan dopan yang diimplantasikan. Bahan target yang digunakan adalah bahan amorf $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ dan bahan dopan adalah Nikel (Ni) dan Tembaga (Cu) dalam bentuk serbuk. Bahan target berbentuk pita dipotong dengan panjang 4 cm, lebar 2 mm, dan tebal 20-40 μm .

Karena permukaan bahan target sudah halus dan mengkilap, jadi tidak perlu dipolish. Sebelum dilakukan proses implantasi, bahan target dicuci dengan aseton dan alat pencuci gelombang ultrasonik dengan tujuan untuk menghilangkan kemungkinan adanya kotoran yang menempel misal minyak atau lemak dan debu, kemudian dikeringkan dengan hair dryer sampai bahan target benar-benar kering.

3.2.2 Proses Implantasi Ion

Alat yang digunakan dalam proses implantasi ion adalah mesin implantor ion 200 keV/2 mA milik Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan (PTAPB)-BATAN Yogyakarta. Dalam penelitian ini dilakukan implantasi ion Nikel pada permukaan $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan implantasi ion Tembaga pada $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, 70 menit, 80 menit, 90 menit dan 100 menit dan energi ion konstan sebesar 100 keV serta arus berkas 10 μA .

Proses implantasi ion terdiri dari dua proses yaitu proses penghampaan mesin implantasi ion dan proses implantasi ion sendiri.

1. Proses penghampaan mesin implantasi ion

- ◆ Menghidupkan pompa rotari dan membuka katup *by pass* ke sistem sampai tingkat kehampaannya mencapai 10^{-2} mmHg.

- ◆ Menutup katup *by pass* dan membuka katup antara pompa difusi dan pompa rotari agar tingkat kehampaan pompa rotari juga mencapai 10^{-2} mmHg.
- ◆ Menjalankan sistem pendingin dan pemanas pompa difusi sampai pemanasan berjalan sekitar 20 menit.
- ◆ Membuka *valve gate* untuk menghampakan seluruh sistem sampai tingkat kehampaan mencapai $\pm 10^{-6}$ mmHg.
- ◆ Implantor ion siap dioperasikan.

2. Proses Implantasi Ion

- ◆ Memasang ion dopan pada pemanas di sumber ion.
- ◆ Memasang sampel yang akan diimplantasi pada kotak target (*cawan Faraday*).
- ◆ Menghidupkan sumber ion.
- ◆ Memeriksa sirkulasi air dalam tandon setelah ionisasi berjalan baik.
- ◆ Menghidupkan sumber tegangan pemercepat dan mengamati keluaran arus pada sasaran sekaligus memfokuskannya.
- ◆ Mengatur arus ion dengan memutar tombol ekstraktor, pemfokus, dan arus pada *cawan Faraday* (target).
- ◆ Mengatur tegangan ekstraktor, pemfokus, magnet analisa, dan tegangan pemercepat sesuai dengan arus yang diinginkan.
- ◆ Menentukan waktu lamanya implantasi sesuai dengan dosis yang dikehendaki.

3.2.3 Pemanasan

Cuplikan yang telah diimplantasi ion, di karakterisasi dengan XRD, dan di uji kekerasan kemudian di panaskan pada temperatur antara T_g dan T_x yaitu 420°C selama 1 jam.

3.2.4 Karakterisasi

Uji Difraksi sinar X dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui keamorfan $\text{Zr}_{65}\text{Cu}_{25}\text{Al}_{10}$ dan $\text{Zr}_{70}\text{Ni}_{20}\text{Al}_{10}$ sebelum dan

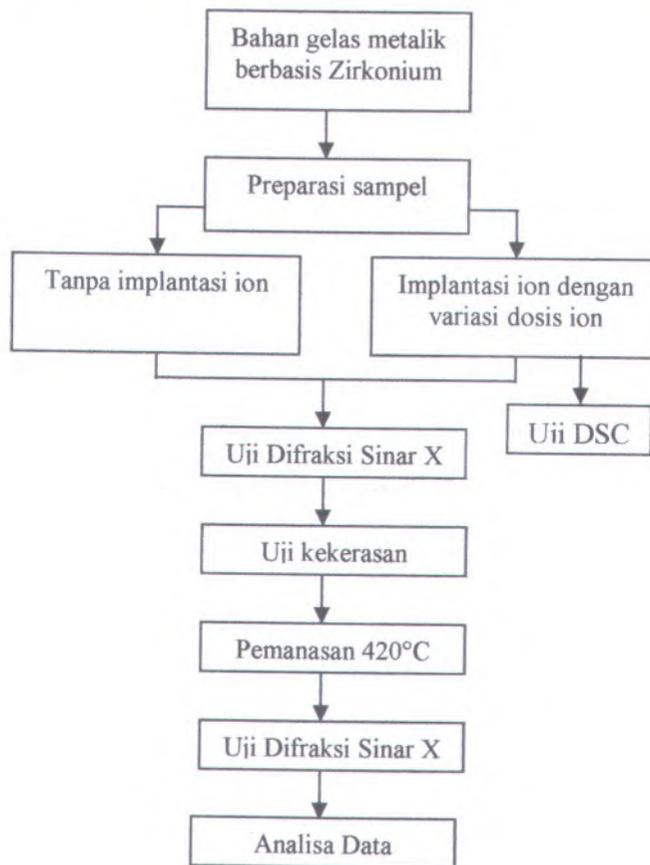
sesudah implantasi ion Nikel dan Tembaga. Analisa termal dilakukan untuk mengetahui pengaruh implantasi ion terhadap nilai T_g dan T_x . Sedangkan untuk mengetahui pengaruh implantasi ion terhadap kekerasan bahan diuji dengan menggunakan Vickers Hardness Tester.

3.2.5 Analisa Data

Analisa data yang dilakukan adalah :

1. Pengaruh implantasi ion dengan variasi dosis ion terhadap keamorfan dan kekerasan bahan.
2. Pengaruh implantasi ion terhadap nilai T_g dan T_x .

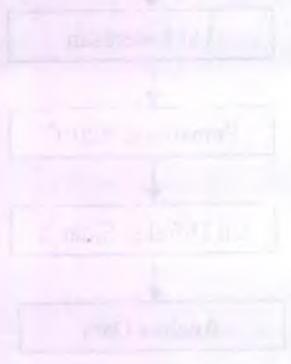
Tahapan dari penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Halaman ini sengaja dikosongkan



Gambar 1.1 Diagram alir proses...

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berdasar metode penelitian yang telah disusun, didapatkan data hasil implantasi ion, difraksi sinar X, hasil DSC dan uji kekerasan. Berikut ini akan dilakukan pembahasan mengenai hasil implantasi ion, pengaruh implantasi ion dan pemanasan terhadap keamorfan dari analisa pola difraksi sinar X, data hasil DSC dan kekerasan bahan.

4.1 Analisa Implantasi Ion

Dalam penelitian ini implantasi ion dilakukan pada 2 sampel, yaitu implantasi ion Ni pada ZrCuAl dan implantasi ion Cu pada ZrNiAl. Pada proses implantasi ion ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan diantaranya energi dan dosis ion. Energi ion akan berpengaruh terhadap jangkauan ion dopan (kedalaman penetrasi), sedangkan dosis ion berpengaruh pada konsentrasi distribusi ion yang terimplantasi pada bahan target.

Untuk mendapatkan parameter proses implantasi ion dilakukan pengambilan data awal dari perhitungan teoritis dan simulasi program SRIM 2006 (Lampiran A). Hasil perhitungan dan simulasi program SRIM disajikan oleh Tabel 4.1 dan hasil data tersebut digunakan sebagai acuan untuk memprediksi distribusi ion dalam permukaan ZrCuAl dan ZrNiAl.

Tabel 4.1 Parameter implantasi ion

Target	Jenis ion dopan	Energi ion (keV)	Arus ion (μA)	R_p (\AA)	R_t (\AA)	σ_{Rp} (\AA)
ZrCuAl	Ni	100	10	436	630,892	174,460
ZrNiAl	Cu	100	10	425	600,525	180,379

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dengan energi sebesar 100 keV berkas ion Ni mampu menembus permukaan target ZrCuAl dengan jangkauan ion sebesar 436 Å. Sedangkan untuk berkas ion Cu hanya mampu menembus permukaan ZrNiAl dengan jangkauan sebesar 425 Å. Hal ini berarti berkas ion Ni mampu menembus bahan targetnya lebih dalam dibandingkan dengan ion Cu. Perbedaan besarnya jangkauan ion untuk kedua ion dopan disebabkan oleh massa ion dopan dan massa atom target yang berbeda. Besarnya jangkauan ion juga dipengaruhi oleh energi ion yang digunakan, dimana semakin besar energi ion maka jangkauan ion juga semakin besar.

Untuk mendapatkan dosis ion yang bervariasi maka lamanya implantasi dibuat bervariasi (10 menit sampai 100 menit). Besarnya dosis ion dihitung menggunakan Persamaan (2.7) dan hasilnya disajikan pada Tabel 4.2. Ion Ni sebagian besar terdistribusi pada jarak 436 Å dari permukaan ZrCuAl, sedangkan ion Cu sebagian besar terdistribusi pada jarak 425 Å dari permukaan ZrNiAl.

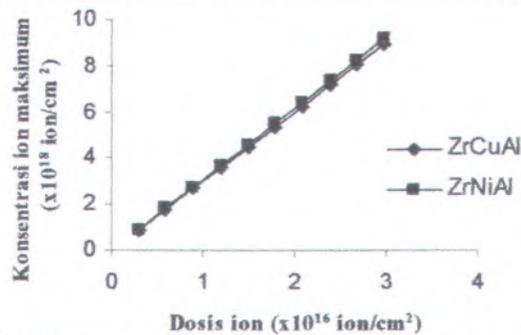
Tabel 4.2 Dosis ion yang digunakan selama implantasi

No	Waktu (detik)	Dosis ion ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)
1	0	Tanpa implantasi
2	600	0,2982
3	1200	0,5964
4	1800	0,8946
5	2400	1,1927
6	3000	1,4910
7	3600	1,7892
8	4200	2,0873
9	4800	2,3855
10	5400	2,6837
11	6000	2,9820

Distribusi konsentrasi ion tergantung pada dosis ion, jangkauan ion terproyeksi, dan simpangan baku distribusi ion terproyeksi seperti ditunjukkan oleh Persamaan (2.8). Distribusi konsentrasi ion yang maksimum terjadi pada x sama dengan jangkauan ion dopan (R_p), sebagaimana Persamaan (2.9). Secara teoritis distribusi ion Ni dan Cu dengan konsentrasi ion maksimum untuk berbagai variasi dosis ion ditunjukkan pada Tabel 4.3. Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa konsentrasi ion maksimum sebanding dengan dosis ion yang diimplantasikan.

Tabel 4.3 Konsentrasi ion maksimum untuk berbagai variasi dosis

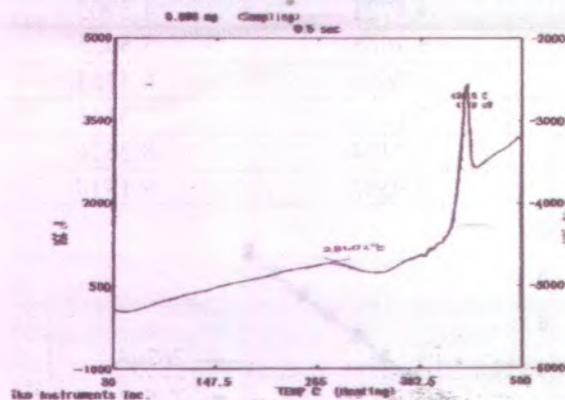
Dosis ion ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	Konsentrasi ion maksimum($\times 10^{18}$ ion/cm ³)	
	ZrCuAl	ZrNiAl
0,2982	0,8944	0,9181
0,5964	1,7888	1,8362
0,8946	2,6832	2,7543
1,1927	3,5773	3,6721
1,4910	4,4721	4,5905
1,7892	5,3665	5,5086
2,0873	6,2606	6,4264
2,3855	7,1550	7,3445
2,6837	8,0494	8,2626
2,9820	8,9382	9,1810



Gambar 4.1 Pengaruh dosis ion terhadap konsentrasi ion maksimum

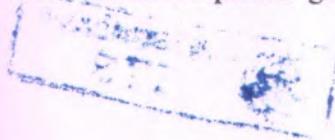
4.2 Analisa Data DSC (Deferensial Scanning Calorimetry)

Pengambilan data DSC dilakukan untuk mengetahui pengaruh implantasi ion Ni pada ZrCuAl terhadap nilai temperatur transisi gelas (T_g) dan temperatur kristalisasi (T_x). Gambar 4.2 merupakan hasil karakterisasi termal menggunakan DSC untuk sampel ZrCuAl yang diimplantasi dengan dosis yang paling tinggi yaitu $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm². Dari Gambar 4.2 dapat ditentukan nilai temperatur transisi gelas dan temperatur kristalisasinya. Nilai T_g merupakan titik tengah dari daerah transisi gelas yang diperoleh dengan menarik slope pada daerah endotermik dan nilai T_x merupakan nilai dari daerah transisi kristalisasi dengan menarik garis puncaknya terhadap temperatur pemanasan. Menurut Wiyanto (2004) temperatur transisi gelas bukan merupakan titik tetapi suatu daerah. Sedangkan untuk transisi kristalisasi ditandai dengan adanya puncak spektrum eksotermik. Spektrum ini menggambarkan energi yang dilepas oleh sistem untuk membentuk kristal. Nilai T_g dari slope adalah $281,02^\circ\text{C}$ dan nilai T_x dari puncak spektrum sebesar $435,9^\circ\text{C}$.



Gambar 4.2 Data DSC sampel ZrCuAl yang diimplantasi ion Ni dengan dosis $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm²

Peneliti sebelumnya telah melaporkan (Wiyanto, 2004) bahwa nilai temperatur gelas dan temperatur kristalisasi dengan



menggunakan karakterisasi termal DTA, untuk sampel ZrCuAl yang tidak diberi perlakuan nilai $T_g=398,6^{\circ}\text{C}$ dan nilai $T_x=446,5^{\circ}\text{C}$.

Nilai T_g dan T_x antara sampel yang tidak diimplantasi dengan yang diimplantasi mengalami pergeseran yaitu untuk sampel ZrCuAl nilai temperatur transisi gelas dari $T_g=398,6^{\circ}\text{C}$ ke $T_g=281,02^{\circ}\text{C}$, sedangkan nilai temperatur kristalisasi dari $T_x=446,5^{\circ}\text{C}$ ke $T_x=435,9^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian implantasi ion Ni pada sampel ZrCuAl menyebabkan daerah T_g dan T_x nya semakin lebar, artinya daerah transisi dari maorf ke kristal juga semakin lebar. Pergeseran nilai T_g dan T_x bisa dikaitkan dengan perubahan komposisi kimia dan struktur yang terjadi pada lapisan permukaan saat implantasi, sehingga mempengaruhi energi yang dilepaskan oleh sistem untuk membentuk kristal.

Nilai T_g dan T_x sampel ZrCuAl yang diimplantasi dengan ion Ni dapat dibandingkan dengan nilai T_g dan T_x untuk sampel empat komponen yaitu ZrCuNiAl. Hasil karakterisasi termal DTA yang telah dilakukan Wiyanto (2004) yaitu nilai $T_g=362,5^{\circ}\text{C}$ dan nilai $T_x=439,6^{\circ}\text{C}$. Nilai T_g nya sangat berbeda yaitu $281,02^{\circ}\text{C}$ dengan $362,5^{\circ}\text{C}$, namun untuk nilai T_x nya hampir mendekati yaitu $435,9^{\circ}\text{C}$ dengan $439,6^{\circ}\text{C}$. Hal ini menandakan penambahan elemen padu dengan implantasi ion menyebabkan pergeseran nilai T_g nya menjauhi nilai T_x nya.

Nilai T_g dan T_x yang didapatkan dengan menggunakan DSC dan TG/DTA memiliki perbedaan. Ini dimungkinkan adanya perbedaan laju pemanasan maupun pendinginan yang diberikan pada sampel. Dalam penelitian ini laju pemanasan yang digunakan adalah $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

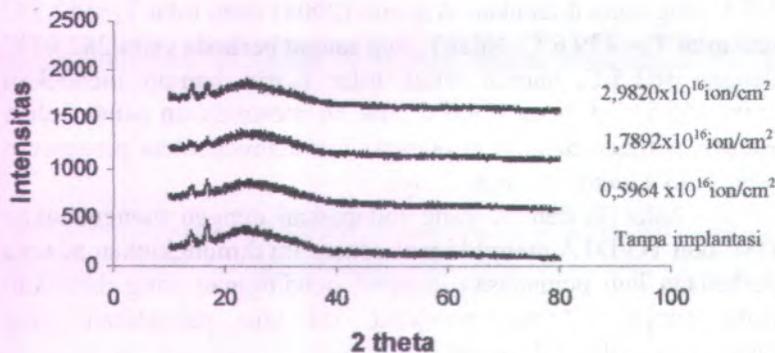
4.3 Pengaruh Implantasi Ion dan Pemanasan terhadap Keamorfan dari Analisa Pola Difraksi Sinar X

Pengujian difraksi sinar X dilakukan pada sampel sebelum dan setelah implantasi ion serta setelah dipanaskan. Terdapat empat sampel yang dipilih sebagai sampel uji yaitu sampel yang tidak diimplantasi, sampel dengan dosis 0,5964

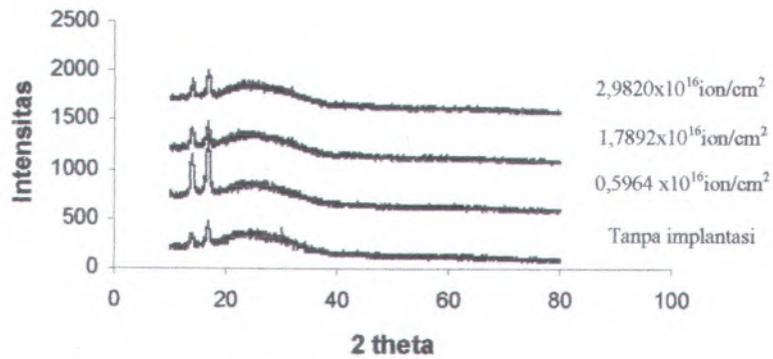


$\times 10^{16}$ ion/cm² untuk dosis rendah, $1,7892 \times 10^{16}$ ion/cm² untuk dosis sedang dan $2,9820 \times 10^{16}$ ion/cm² untuk dosis tinggi. Data hasil pengujian difraksi sinar X disajikan pada Gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6.

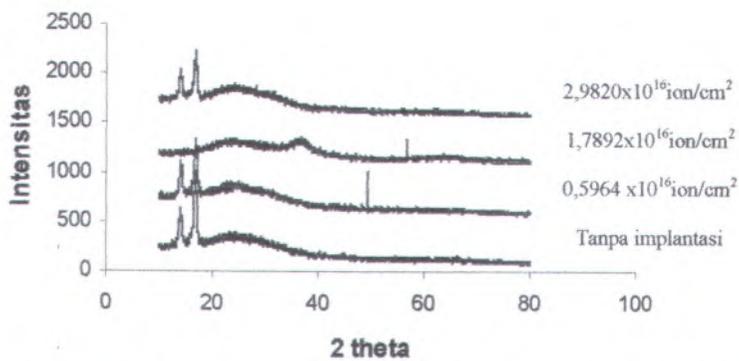
Pola difraksi yang diperoleh dari hasil uji difraksi sinar X menggambarkan status kristalinitas bahan yang diuji. Keberadaan fasa kristal dapat dilihat dengan adanya puncak-puncak difraksi. Sedangkan fasa amorf memberikan pola berbentuk punuk atau intensitas latar yang tidak teratur. Intensitas pola difraksi yang berbentuk puncak menunjukkan adanya bidang-bidang refleksi Bragg dengan orientasi tertentu, yang dihamburkan oleh atom-atom yang tersusun teratur dan periodik. Intensitas berbentuk punuk menggambarkan hamburan difraksi oleh atom-atom yang tersusun teratur tapi berjangkauan pendek. Hal ini berarti intensitas pola difraksi juga menunjukkan posisi atom-atom dalam suatu unit sel.



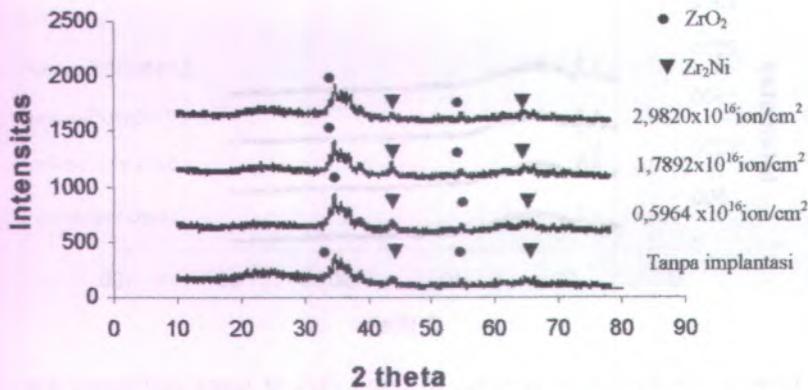
Gambar 4.3 Pola difraksi sinar X bahan ZrCuAl tanpa implantasi dan dengan implantasi ion Ni



Gambar 4.4 Pola difraksi sinar X bahan ZrNiAl tanpa implantasi dan dengan implantasi ion Cu



Gambar 4.5 Pola difraksi sinar X bahan ZrCuAl tanpa implantasi dan dengan implantasi ion Ni setelah dipanaskan 420°C



Gambar 4.6 Pola difraksi sinar X bahan ZrNiAl tanpa implantasi dan dengan implantasi ion Cu setelah dipanaskan 420°C

Gambar 4.3 dan 4.4 merupakan pola difraksi dari sampel ZrCuAl dan ZrNiAl sebelum dan setelah diimplantasi yang menunjukkan adanya puncak difraksi dan pola intensitas latar yang masih banyak. Karena ion Ni dan Cu hanya mampu menembus sampai pada jangkauan 436 \AA dan 425 \AA serta membentuk lapisan tipis permukaan, maka hanya sedikit mempengaruhi pada keamorfannya seperti terlihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 yang ditunjukkan dengan perubahan intensitas latar. Prosentase perubahan fasa amorf pada sampel ZrCuAl dan ZrNiAl disajikan pada Tabel 4.4. Pada sampel ZrCuAl terlihat bahwa implantasi ion Ni menurunkan fasa amorfnya dan pada sampel ZrNiAl implantasi ion Cu meningkatkan fasa amorfnya, namun pada dosis yang tinggi fasa amorfnya turun.

Sedangkan jika dilihat dari dua puncak dari pola difraksinya terdapat perbedaan intensitas. Sampel ZrCuAl yang diimplantasi dengan ion Ni intensitas puncak difraksinya semakin menurun, sedangkan sampel ZrNiAl yang diimplantasi dengan ion Cu intensitas puncak difraksinya mengalami peningkatan namun dengan penambahan dosis intensitasnya menurun.

Perubahan jarak bidang dan intensitas untuk Gambar 4.3 dan 4.4 dapat dilihat di Lampiran B. Penurunan dan peningkatan intensitas latar dan puncak difraksi menunjukkan efek dari implantasi. Intensitas puncak difraksi menentukan posisi-posisi atom dalam suatu unit sel (Cullity, 2001). Karena selama proses implantasi ion berlangsung, energi ion yang dipindahkan cukup untuk memutuskan ikatan kimia dan mengakibatkan pergeseran atom-atom target dari letak kisi asalnya. Sehingga jarak antar bidangnya juga berubah (bergeser). Atom-atom yang bergeser tersebut juga dapat menggeser atom-atom yang lain sehingga mengakibatkan suatu tumbukan beruntun antar atom (Sudjatmoko, 1998).

Tabel 4.4 Hasil perhitungan prosentase perubahan fasa amorf sampel ZrCuAl dan ZrNiAl

Sampel	Dosis ion ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	Fraksi berat amorf (%)	
		Setelah diimplantasi	Setelah dipanaskan
ZrCuAl	0	0	0
	0,5964	-0,10	-6,16
	1,7892	-6,24	0,02
	2,9820	-5,73	-0,15
ZrNiAl	0	0	0
	0,5964	12,05	-20,12
	1,7892	12,04	-0,93
	2,9820	-6,56	-0,92

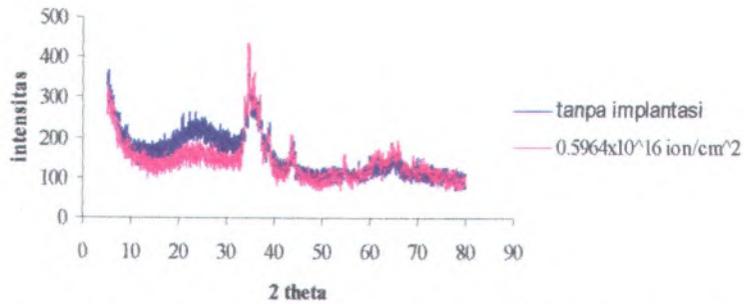
Keterangan : (-) berkurang/menurun

Untuk mengetahui pengaruh pemanasan hasil implantasi terhadap keamorfan dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6. Pada sampel ZrCuAl dan ZrNiAl menunjukkan adanya penurunan intensitas latar dan puncak difraksi, namun pada ZrCuAl tidak terjadi pertumbuhan kristal karena puncak-puncaknya tidak

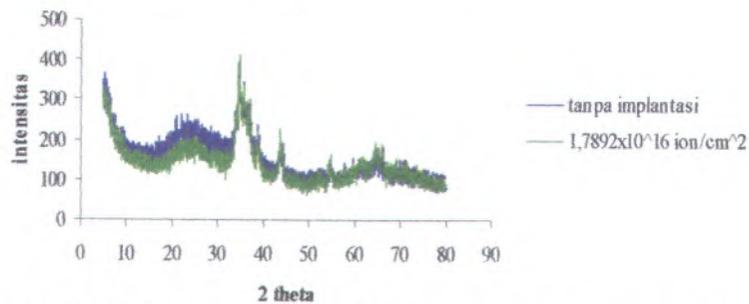
bertambah. Pertumbuhan kristal terjadi karena bila hasil implantasi dipanaskan maka atom-atom akan berdifusi masuk lebih ke dalam dan energi termal yang diberikan mampu membuat atom-atom bervibrasi dan bermigrasi, sehingga atom-atom dapat menyusun menjadi lebih teratur. Apabila temperatur yang digunakan cukup untuk memberikan energi pada bahan amorf agar melampaui inti kritisnya, maka transformasi dari amorf ke kristal akan berlangsung. Proses transformasi dari amorf ke kristal disebut kristalisasi. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 4.6 untuk sampel ZrNiAl. Prosentase perubahan fasa amorf pada sampel ZrCuAl dan ZrNiAl disajikan pada Tabel 4.4, terlihat bahwa setelah dipanaskan fasa amorfnya juga menurun.

Pengaruh penambahan dosis terhadap perubahan intensitas latar pada sampel ZrNiAl dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 4.7, 4.8 dan 4.9. Penurunan intensitas latar yang banyak ditunjukkan oleh Gambar 4.7 yaitu pada dosis implantasi $0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm².

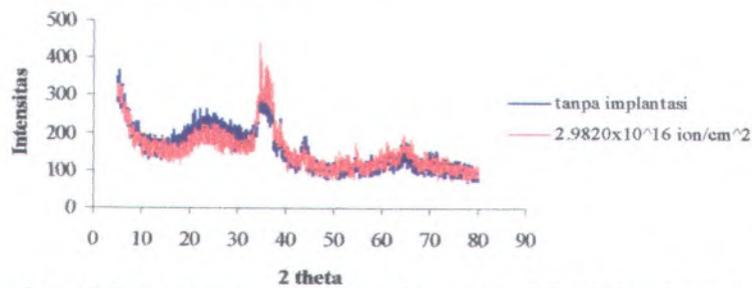
Selanjutnya dari Gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6 dilakukan identifikasi fasa pada puncak-puncak difraksi. Identifikasi fasa dilakukan dengan cara pencocokan data posisi-posisi puncak difraksi terukur dengan basis data (*data base*) fasa-fasa yang telah dikompilasi dalam bentuk kartu PDF (*Powder Diffraction File*). Identifikasi fasa dilakukan menggunakan *Philips Xpert Graphic dan Identify Software*. Setelah dilakukan analisa ternyata puncak difraksi pada Gambar 4.3, 4.4 dan 4.5 tidak ada yang cocok dengan data base PDF. Hal ini karena data base bersifat dinamis, sehingga kemungkinan data puncak tersebut belum ada pada data base PDF yang digunakan. Sedangkan pada Gambar 4.6 terdapat dua fasa yang teridentifikasi yaitu fasa intermetalik dan kristal oksida. Fasa intermetalik yang teridentifikasi yaitu Zr₂Ni dan kristal oksida yang teridentifikasi yaitu ZrO₂.



Gambar 4.7 Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis $0,5964 \times 10^{16} \text{ ion/cm}^2$



Gambar 4.8 Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis $1,7892 \times 10^{16} \text{ ion/cm}^2$



Gambar 4.9 Pola penurunan intensitas latar sampel ZrNiAl pada dosis $2,982 \times 10^{16} \text{ ion/cm}^2$

4.4 Pengaruh Implantasi Ion terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Bahan

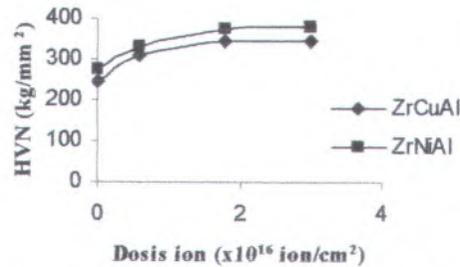
Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui kekerasan sampel sebelum dan setelah implantasi. Sebelum diuji sampel dimounting, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pengujian sampel yang ukurannya kecil. Setelah dilakukan uji kekerasan didapatkan nilai kekerasan untuk masing-masing sampel yang diimplantasi dengan ion Ni dan ion Cu. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data kekerasan sampel ZrCuAl dan ZrNiAl setelah diimplantasi ion Ni dan Cu variasi dosis ion

Dosis ion ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	HV (kg/mm ²)	
	ZrCuAl	ZrNiAl
0	247,5	275,9
0,5964	312,2	332,0
1,7892	347,3	373,5
2,9820	346,7	380,2

Di antara aplikasi teknik implantasi ion adalah untuk perlakuan permukaan (*surface treatment*) seperti peningkatan kekerasan bahan. Peneliti sebelumnya Ghoranneviss, et.al. telah melaporkan bahwa stainless steel yang diimplantasi dengan ion N⁺ dengan variasi dosis akan mengalami peningkatan kekerasan dan turun pada pada dosis yang tinggi karena lapisan yang terimplantasi sudah jenuh (Ghoranneviss, 2003). Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah gelas metalik, yaitu logam yang mempunyai struktur amorf atau mempunyai keteraturan atom yang berjangkauan pendek. Dan secara mikroskopik, gelas metalik tidak mempunyai batas butir seperti umumnya logam murni maupun paduan. Pada temperatur ruang keuletan paduan amorf yang didalamnya terdapat fasa nanokristal lebih besar jika dibandingkan dengan kristal. Hal ini disebabkan

oleh tersebar meratanya nanokristal ke dalam matrik amorf yang ada dalam bahan paduan, sehingga dapat mengakibatkan kekerasan (*hardness*), kekuatan (*strength*), dan keuletan yang tinggi (Inoue, 2000).



Gambar 4.10 Pengaruh dosis ion terhadap kekerasan bahan ZrCuAl dan ZrNiAl setelah diimplantasi ion Ni dan Cu

Berdasarkan hasil uji kekerasan (Tabel 4.5 dan Gambar 4.10) terlihat bahwa implantasi ion Ni pada permukaan paduan ZrCuAl dan ion Cu pada permukaan ZrNiAl dengan variasi dosis ion mampu meningkatkan kekerasan. Hal ini karena dalam proses implantasi ion terjadi pergeseran atom-atom target oleh ion-ion dopan. Pergeseran atom-atom berkaitan dengan jari-jari ion dopan dengan jari-jari atom-atom target. Ion Ni dan Cu yang diimplantasikan pada target mempunyai jari-jari atom yang lebih kecil dibandingkan dengan jari-jari atom target yaitu Ni=1,25 Å, Cu=1,28 Å, Zr=1,59 Å dan Al=1,49 Å. Sehingga pada waktu implantasi ion Ni dan Cu mampu menggeser atom-atomnya sehingga mengakibatkan susunan atom yang keteraturannya pendek menjadi lebih acak. Pergeseran atom-atom mengakibatkan terjadinya cacat titik, yang berupa kekosongan (*vakansi*) bila ion dopan dan atom target memiliki jari-jari atom yang hampir sama dan penyisipan (*intertisi*) apabila ion dopan memiliki jari-jari atom yang lebih kecil dari atom-atom target. Terjadinya kekosongan maupun penyisipan memberikan kontribusi yang besar dalam menghambat pergerakan dislokasi, sehingga kekerasan material meningkat. Namun peningkatan kekerasan

belum begitu signifikan karena dosis yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara $0,2982-2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, sedangkan yang dilakukan oleh Ghoranneviss, et. Al. dosis ion bervariasi antara $1 \times 10^{16}-3 \times 10^{19}$ ion/cm² sehingga kekerasan bahan meningkat dengan signifikan.



Gambar 4.10. Hubungan antara dosis ion dengan kekerasan pada film tipis ZnO.

... (The following text is extremely faint and largely illegible due to low contrast and blurring in the scan. It appears to be a continuation of the discussion on the relationship between ion dose and material properties, possibly hardness or refractive index, for ZnO thin films. It mentions that as the ion dose increases, the material properties change, and that the changes observed in this study are less significant than those reported in other literature.)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang telah dilakukan, hal-hal yang dapat disimpulkan antara lain :

- a. Implantasi ion Ni pada $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$ dan ion Cu pada $Zr_{70}Ni_{20}Al_{10}$ dengan dosis yang meningkat menurunkan dan meningkatkan fasa amorfnya yang ditunjukkan dengan adanya penurunan dan peningkatan intensitas latar pada pola difraksi Sinar X.
- b. Kekerasan bahan meningkat dengan penambahan dosis yang semakin tinggi karena adanya cacat struktur yang menghambat gerakan dislokasi.
- c. Implantasi ion Ni pada dosis $2,982 \times 10^{16}$ ion/cm² menyebabkan bergesernya nilai T_g dan T_x bahan $Zr_{65}Cu_{25}Al_{10}$, yaitu bergeser dari $398,6^{\circ}C$ ke $281,02^{\circ}C$ untuk nilai T_g dan dari $446,5^{\circ}C$ ke $435,9^{\circ}C$ untuk nilai T_x .

5.2 Saran

Untuk mendapatkan data yang optimal dan lebih akurat dalam mengetahui pengaruh implantasi ion Ni dan Cu pada bahan gelas metalik berbasis Zirkonium terhadap perubahan struktur dan kekerasan material, maka :

- a. Dilanjutkan dengan memvariasi energi ion dopan dengan dosis ion konstan.
- b. Komposisi dan distribusi ion dopan hasil implantasi pada target sebaiknya diuji, untuk mengetahui pada dosis berapa komposisinya mencapai maksimum.
- c. Untuk mengetahui perubahan struktur yang lebih jelas sebaiknya digunakan difraksi sinar X metoda lapisan tipis.
- d. Untuk mengukur kekerasan mikro sebaiknya digunakan metoda nanoindentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, W.D. 1985. **Material Science and Engineering: an Introduction**. John Willey & Sonch inc.
- Chemicalements.com. 2006. **Nickel**,
<<http://www.chemicalelements/Ni.html>>.
- Chemicalements.com. 2006. **Copper**,
<<http://www.chemicalelements/Cu.html>>.
- Cullity, B.D., Stock, S.R. 2001. **Elements of X-Ray Diffraction**. Third Edition. New Jersey : Prentice Hall.
- Darminto. 2006. **Diktat Fisika Zat Padat I**. Surabaya : Jurusan Fisika ITS.
- Dearneley, G., et. al. 1973. **Ion Implantation**. Amsterdam : North Holland Publishing Company.
- Ghoranneviss, M., et. al. 2003. "N⁺ Ion Implantation Effect on Microhardness Properties of stainless Steel 52100".
- Inoue. A., Matsusita. 2000. "Grain growth Kenetics in Supercooled Liquid Region of $Zr_{65}Cu_{27.5}Al_{7.5}$ dan $Zr_{65}Cu_{35}$ Metallic Glasses". Journal of Material Science : 4143-4149.
- Lauzguine, DV. Inoue, A., 2000. "Crystallization Behavior of $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ Amorphous Alloy" Journal of Material Science : 4159-4164.
- Lestiani, D. D. 2003. "Zircalogy Pada Tabung Bahan Bakar Nuklir". **DIMENSI warta sains dan teknologi** : 8-11. Japan : ISTECS.
- Lestiani, D. D., Takagi, I., 2005. "Pengaruh Implantasi Ion terhadap Penyerapan Hidrogen pada Kelongsong Zircaloy". **Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir**. Bandung: P3TkN BATAN.
- Pratapa, S. 2006. **Catatan Kuliah Difraksi Sinar X**

- Sudjatmoko. 1998. **Akselerator Implantasi Ion. Diklat Pengenalan dan Aplikasi Akselerator**. Yogyakarta : PPNY BATAN.
- Sudjatmoko. 2000. "Karakterisasi Lapisan Nitrida yang Terbentuk pada Permukaan Besi Akibat Implantasi Ion Nitrogen". **Prosiding Seminar Nasional Teknologi Akselerator dan Aplikasinya**. Yogyakarta : P3TM BATAN.
- Sujitno, B.A. T. 2006. "Dasar-Dasar Mesin Implantor Ion". Sekolah Akselerator BATAN. Yogyakarta : PTAPB BATAN.
- Triwikantoro. 2001. "Oxidation Metallener Glaeser of Zr Basis". **Disertation**. Germany: Universitaet Dortmund.
- Djoko. 2001. "Karakterisasi Sumber Ion Tipe Katoda Panas Termomodifikasi Menggunakan Elemen Reaktif Cr, Y, dan Ti. **Prosiding Presentasi dan Pertemuan Ilmiah Teknologi Akselerator dan aplikasinya**. Yogyakarta : P3TM BATAN.
- Van Vlack, L. H. 2001. **Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material**. Edisi keenam (terjemahan). Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Webelement. com. 2006. **Nickel**,
<<http://www.Webelements/Ni.html>>.
- Webelement. com. 2006. **Copper**,
<<http://www.Webelements/Cu.html>>.
- Wiyanto, T. 2004. "Studi Pembentukan dan Karakterisasi Bahan Nanokristal dari Bahan Gelas Metalik Berbasis Zirkonium". **Tesis**. Surabaya : Jurusan Fisika ITS.

LAMPIRAN A

Hasil program SRIM

=====
 Calculation using SRIM-2006
 SRIM version --> SRIM-2006.02
 Calc. date --> Nopember 09, 2006
 =====

Disk File Name = SRIM Outputs\nickel in Zr-Cu-Al
 Ion = Nickel [28] , Mass = 57,94 amu
 Target Density = 6,7187E+00 g/cm3 = 5,1953E+22 atoms/cm3

=====
 Target Composition =====

Atom Name	Atom Numb	Atomic Percent	Mass Percent
Zr	40	065,00	076,14
Cu	29	025,00	020,40
Al	13	010,00	003,46

=====
 Bragg Correction = 0,00%
 Stopping Units = MeV / (mg/cm2)
 See bottom of Table for other Stopping units

Ion Energy	dE/dx Elec.	dE/dx Nuclear	Projected Range	Longitudinal Stragglng	Lateral Stragglng
10,00 keV	6,515E-02	1,591E+00	70 A	50 A	36 A
11,00 keV	6,833E-02	1,630E+00	74 A	53 A	38 A
12,00 keV	7,136E-02	1,665E+00	79 A	55 A	40 A
13,00 keV	7,428E-02	1,697E+00	83 A	58 A	42 A
14,00 keV	7,708E-02	1,726E+00	88 A	61 A	44 A
15,00 keV	7,979E-02	1,752E+00	92 A	64 A	46 A
16,00 keV	8,240E-02	1,776E+00	97 A	66 A	47 A
17,00 keV	8,494E-02	1,798E+00	101 A	69 A	49 A
18,00 keV	8,740E-02	1,819E+00	105 A	71 A	51 A
20,00 keV	9,213E-02	1,856E+00	114 A	76 A	55 A
22,50 keV	9,772E-02	1,895E+00	124 A	83 A	59 A
25,00 keV	1,030E-01	1,928E+00	135 A	89 A	64 A
27,50 keV	1,080E-01	1,956E+00	145 A	95 A	68 A
30,00 keV	1,128E-01	1,980E+00	155 A	101 A	72 A
32,50 keV	1,174E-01	2,000E+00	165 A	106 A	76 A
35,00 keV	1,219E-01	2,018E+00	176 A	112 A	80 A
37,50 keV	1,262E-01	2,033E+00	186 A	118 A	84 A
40,00 keV	1,303E-01	2,046E+00	196 A	123 A	88 A
45,00 keV	1,382E-01	2,068E+00	216 A	135 A	96 A
50,00 keV	1,457E-01	2,083E+00	236 A	146 A	104 A
55,00 keV	1,528E-01	2,095E+00	255 A	157 A	111 A
60,00 keV	1,596E-01	2,103E+00	275 A	168 A	119 A
65,00 keV	1,661E-01	2,108E+00	295 A	178 A	126 A

70,00 keV	1,724E-01	2,111E+00	315 A	189 A	133 A
80,00 keV	1,843E-01	2,111E+00	355 A	210 A	148 A
90,00 keV	1,954E-01	2,106E+00	396 A	232 A	162 A
100,00 keV	2,060E-01	2,097E+00	436 A	253 A	177 A

Multiply Stopping by for Stopping Units

6,7185E+01	eV / Angstrom
6,7185E+02	keV / micron
6,7185E+02	MeV / mm
1,0000E+00	keV / (ug/cm2)
1,0000E+00	MeV / (mg/cm2)
1,0000E+03	keV / (mg/cm2)
1,2932E+02	eV / (1E15 atoms/cm2)
1,6490E-01	L.S.S. reduced units

(C) 1984,1989,1992,1998,2006 by J.P. Biersack and J.F. Ziegler

=====
 Calculation using SRIM-2006
 SRIM version ---> SRIM-2006.02
 Calc. date ---> Nopember 09, 2006
 =====

Disk File Name = SRIM Outputs\Copper in Zr-Ni-Al
 Ion = Copper [29] , Mass = 62,93 amu
 Target Density = 6,5923E+00 g/cm3 = 5,0707E+22 atoms/cm3
 ===== Target Composition =====

Atom Name	Atom Numb	Atomic Percent	Mass Percent
Zr	40	070,00	081,56
Ni	28	020,00	014,99
Al	13	010,00	003,45

=====

Bragg Correction = 0,00%
 Stopping Units = MeV / (mg/cm2)
 See bottom of Table for other Stopping units

Ion Energy	dE/dx Elec.	dE/dx Nuclear	Projected Range	Longitudinal Stragglng	Lateral Stragglng
10,00 keV	7,373E-02	1,682E+00	70 A	48 A	35 A
11,00 keV	7,733E-02	1,724E+00	75 A	51 A	37 A
12,00 keV	8,077E-02	1,763E+00	79 A	54 A	39 A
13,00 keV	8,407E-02	1,798E+00	84 A	57 A	41 A
14,00 keV	8,724E-02	1,829E+00	88 A	59 A	42 A
15,00 keV	9,030E-02	1,859E+00	92 A	62 A	44 A
16,00 keV	9,326E-02	1,885E+00	97 A	64 A	46 A
17,00 keV	9,613E-02	1,910E+00	101 A	67 A	48 A
18,00 keV	9,892E-02	1,933E+00	105 A	69 A	50 A
20,00 keV	1,043E-01	1,974E+00	113 A	74 A	53 A
22,50 keV	1,106E-01	2,018E+00	124 A	80 A	57 A
25,00 keV	1,166E-01	2,056E+00	134 A	86 A	61 A
27,50 keV	1,223E-01	2,087E+00	144 A	91 A	65 A
30,00 keV	1,277E-01	2,115E+00	154 A	97 A	69 A
32,50 keV	1,329E-01	2,139E+00	164 A	102 A	73 A
35,00 keV	1,379E-01	2,160E+00	174 A	108 A	77 A
37,50 keV	1,428E-01	2,178E+00	183 A	113 A	81 A
40,00 keV	1,475E-01	2,194E+00	193 A	118 A	85 A
45,00 keV	1,564E-01	2,220E+00	213 A	129 A	92 A
50,00 keV	1,649E-01	2,239E+00	232 A	139 A	99 A
55,00 keV	1,729E-01	2,254E+00	251 A	149 A	106 A
60,00 keV	1,806E-01	2,265E+00	270 A	160 A	113 A
65,00 keV	1,880E-01	2,273E+00	289 A	170 A	120 A
70,00 keV	1,951E-01	2,279E+00	309 A	180 A	127 A

80,00 keV	2,085E-01	2,283E+00	347 A	200 A	141 A
90,00 keV	2,212E-01	2,282E+00	386 A	219 A	154 A
100,00 keV	2,332E-01	2,276E+00	425 A	239 A	168 A

Multiply Stopping by	for Stopping Units
----------------------	--------------------

6,5921E+01	eV / Angstrom
6,5921E+02	keV / micron
6,5921E+02	MeV / mm
1,0000E+00	keV / (ug/cm2)
1,0000E+00	MeV / (mg/cm2)
1,0000E+03	keV / (mg/cm2)
1,3000E+02	eV / (1E15 atoms/cm2)
1,5280E-01	L.S.S. reduced units

(C) 1984,1989,1992,1998,2006 by J.P. Biersack and J.F. Ziegler

LAMPIRAN B

Data penurunan intensitas dan jarak bidang (d)

ZrCuAl + Ni

Dosis ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	2 θ	Nilai d	Intensitas	FWHM
0	13,947	6,344	362	0,475
	16,811	5,269	453	0,448
0,5964	14,047	6,299	311	0,212
	16,818	5,267	382	0,152
1,7892	13,577	6,516	252	0,035
	16,822	5,266	270	0,034
2,9820	14,015	6,313	312	0,494
	16,746	5,289	334	0,140

ZrCuAl + Ni setelah dipanaskan 420°C

Dosis ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	2 θ	Nilai d	Intensitas	FWHM
0	13,973	6,344	583	0,503
	16,792	5,269	904	0,534
0,5964	13,978	6,299	607	0,510
	16,833	5,267	852	0,513
2,9820	13,896	6,367	503	0,485
	16,731	5,294	732	0,532

ZrNiAl + Cu

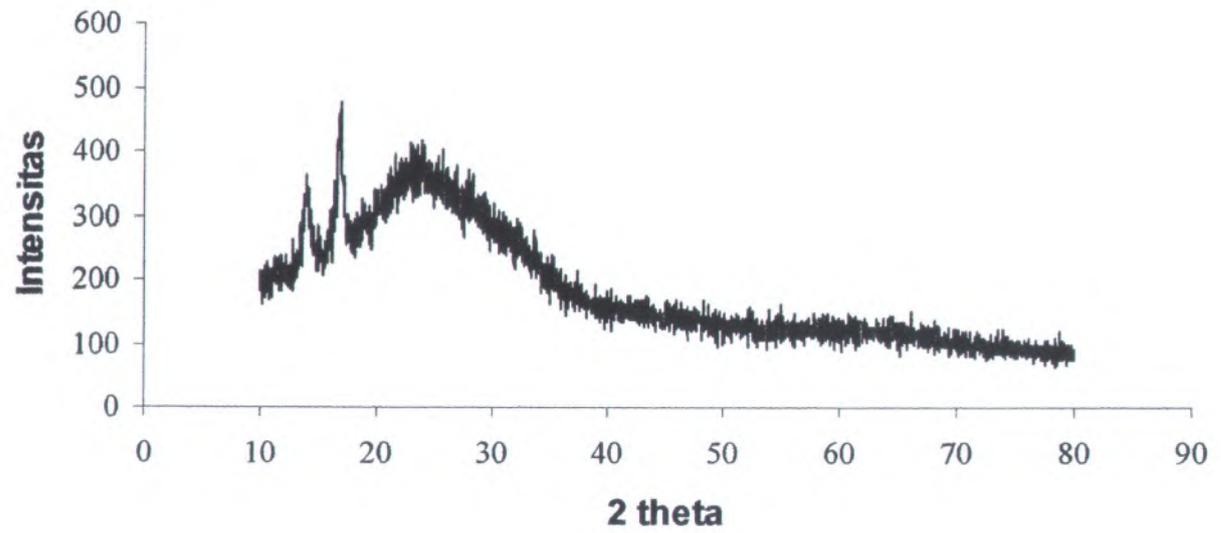
Dosis ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	2 θ	Nilai d	Intensitas	FWHM
0	13,801	6,411	298	0,233
	16,778	5,279	456	0,433
0,5964	13,913	6,359	617	0,522
	16,740	5,291	805	0,551
1,7892	13,896	6,637	408	0,383
	16,748	5,289	423	0,451
2,9820	13,970	6,333	394	0,436
	16,784	5,277	477	0,486

ZrNiAl + Cu setelah dipanaskan 420°C

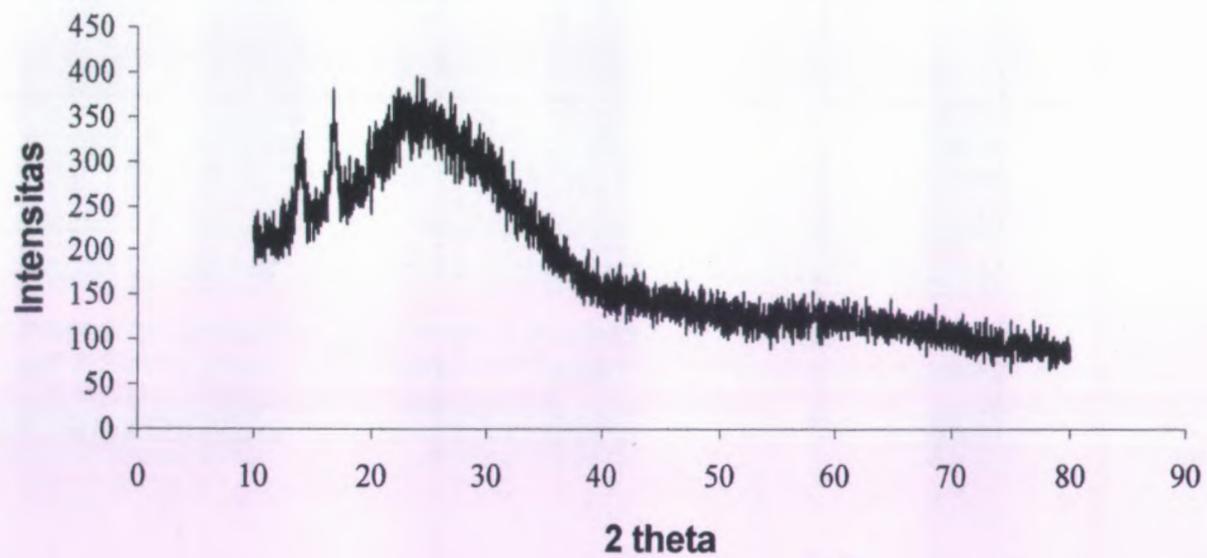
Dosis ($\times 10^{16}$ ion/cm ²)	2 θ	Nilai d	Intensitas	FWHM
0	33,921	2,640	273	0,107
	34,732	2,580	363	0,283
	35,699	2,513	305	0,029
	37,130	2,419	258	0,127
	43,798	2,065	160	0,028
	54,707	1,676	142	0,060
0,5964	34,684	2,584	406	0,161
	35,745	2,509	321	0,046
	37,038	2,425	289	0,152
	43,692	2,070	191	0,249
	54,632	1,678	141	0,095
1,7892	33,999	2,034	250	0,019
	34,708	2,582	362	0,250
	35,752	2,509	324	0,028
	37,078	2,422	286	0,231
	43,740	2,067	174	0,036
	54,720	1,676	133	0,033
	64,628	1,440	194	0,084
2,9820	34,787	2,576	412	0,254
	35,838	2,503	348	0,123
	36,623	2,451	335	0,249
	37,187	2,415	298	0,046
	38,656	2,327	222	0,084
	54,740	1,675	156	0,216
	61,218	1,512	163	0,046
	64,338	1,446	160	0,016
	64,720	1,439	169	0,024
	65,297	1,427	153	0,015
	66,095	1,412	182	0,070

.LAMPIRAN C

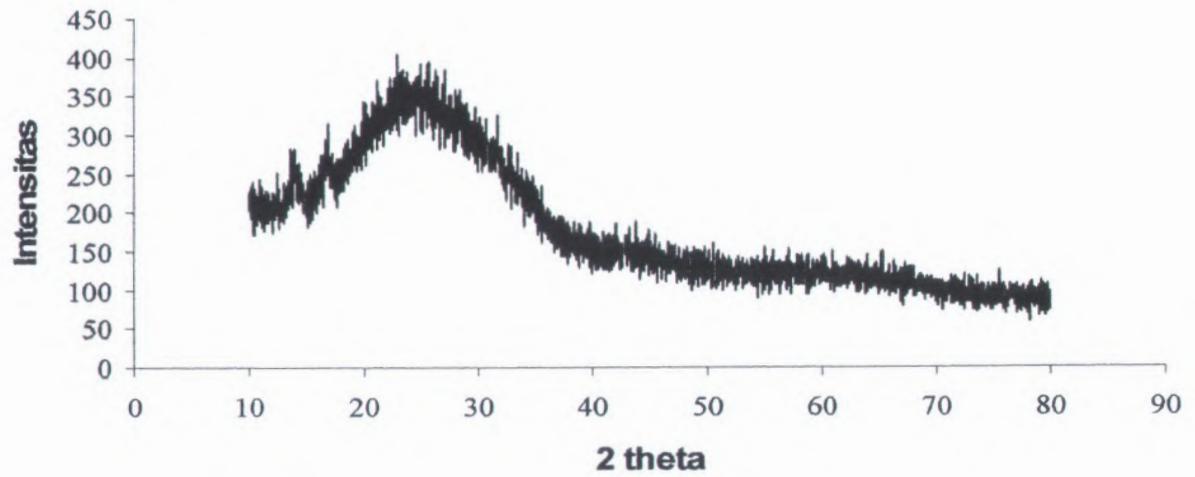
ZrCuAl



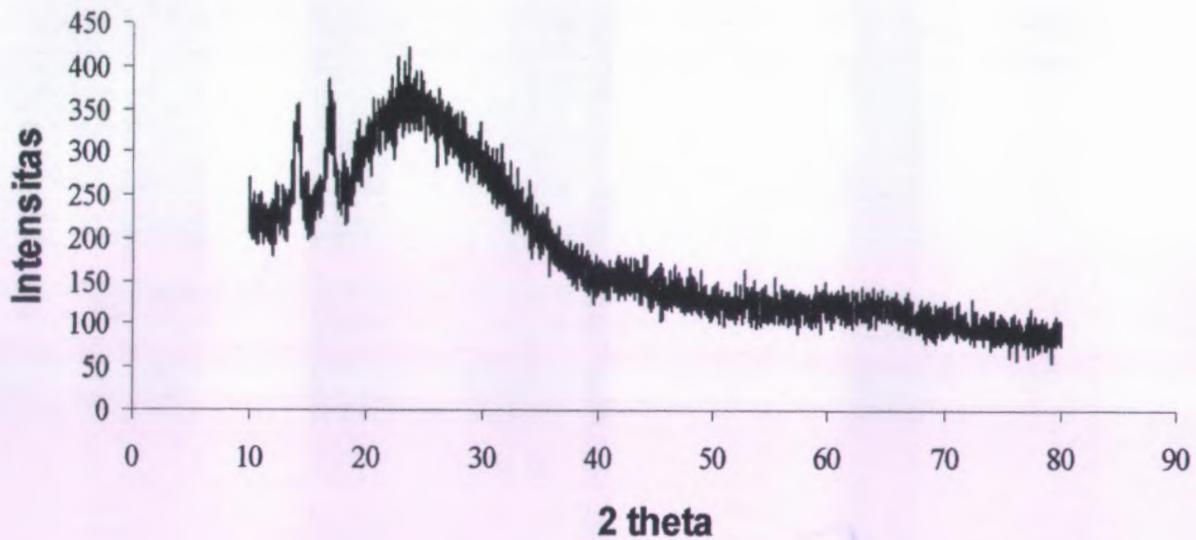
ZrCuAl + Ni ($0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm²)



ZrCuAl + Ni ($1,7982 \times 10^{16}$ ion/cm²)

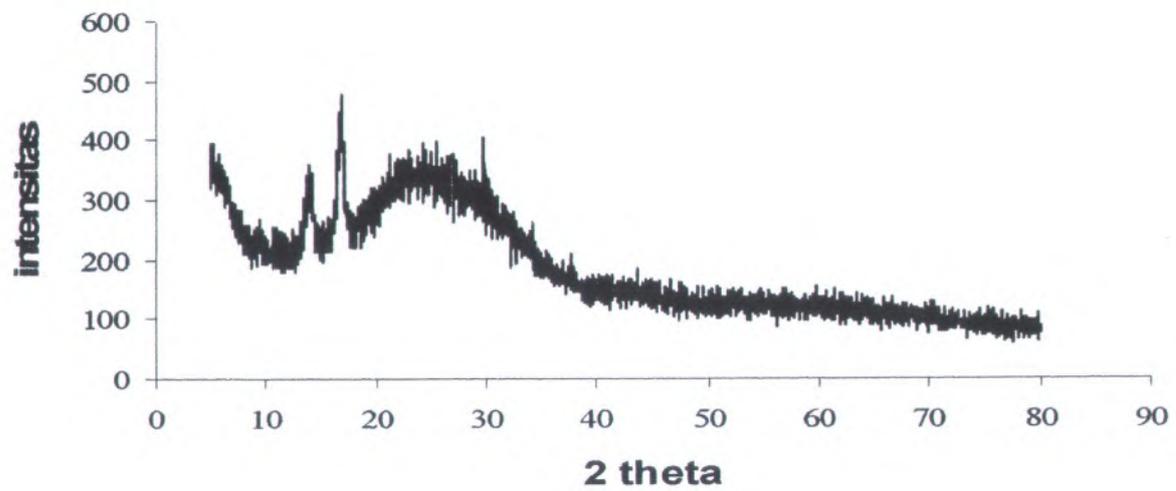


ZrCuAl + Ni ($2,982 \times 10^{16}$ ion/cm²)

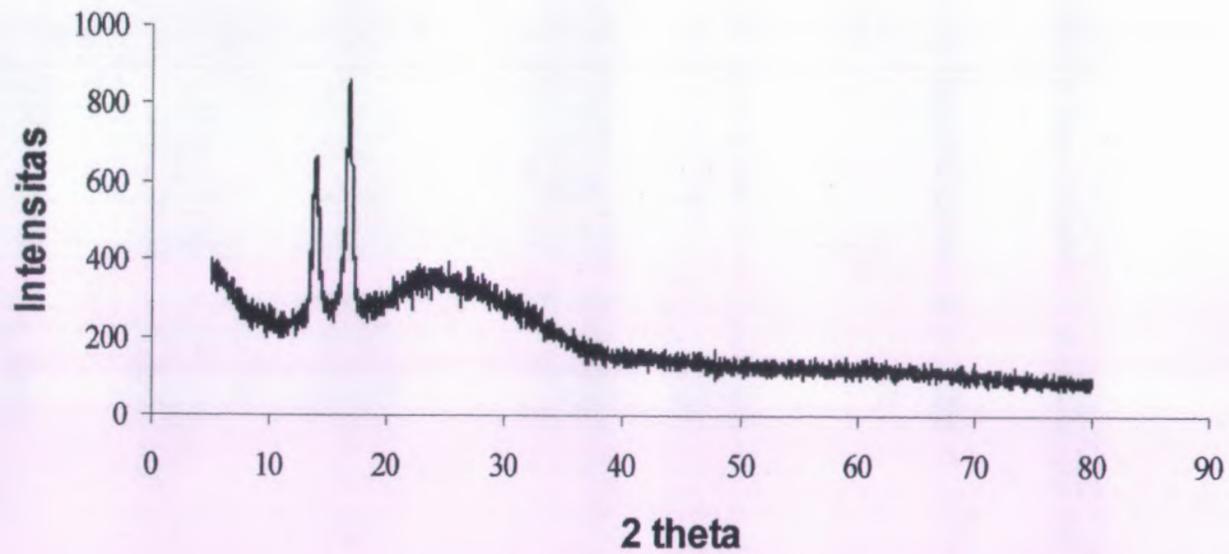


PT. KEMBARA BANGSA
2012

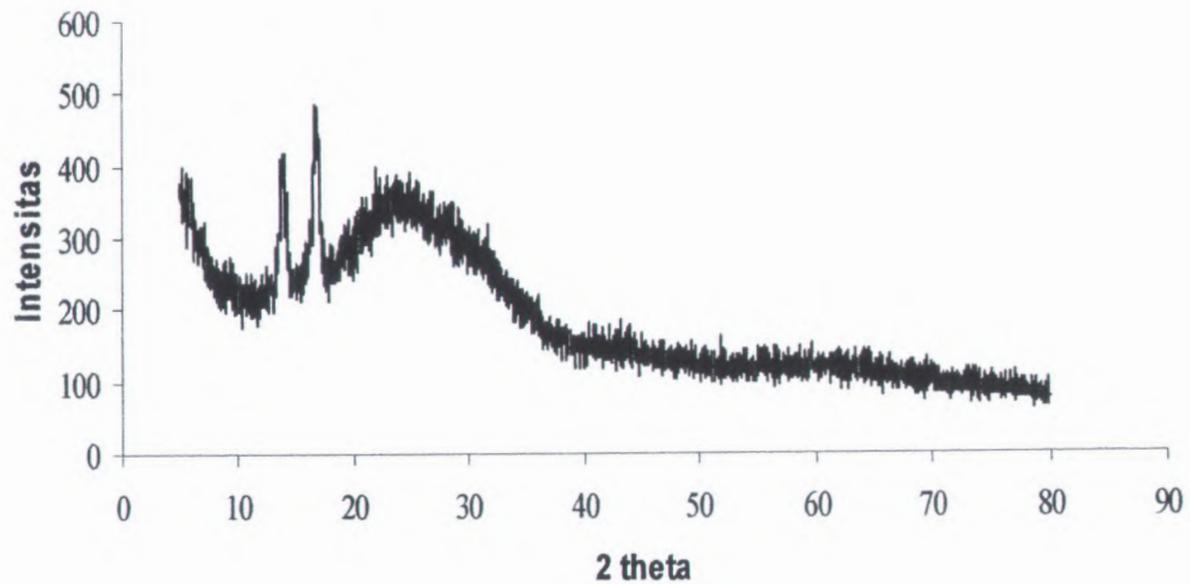
ZrNiAl



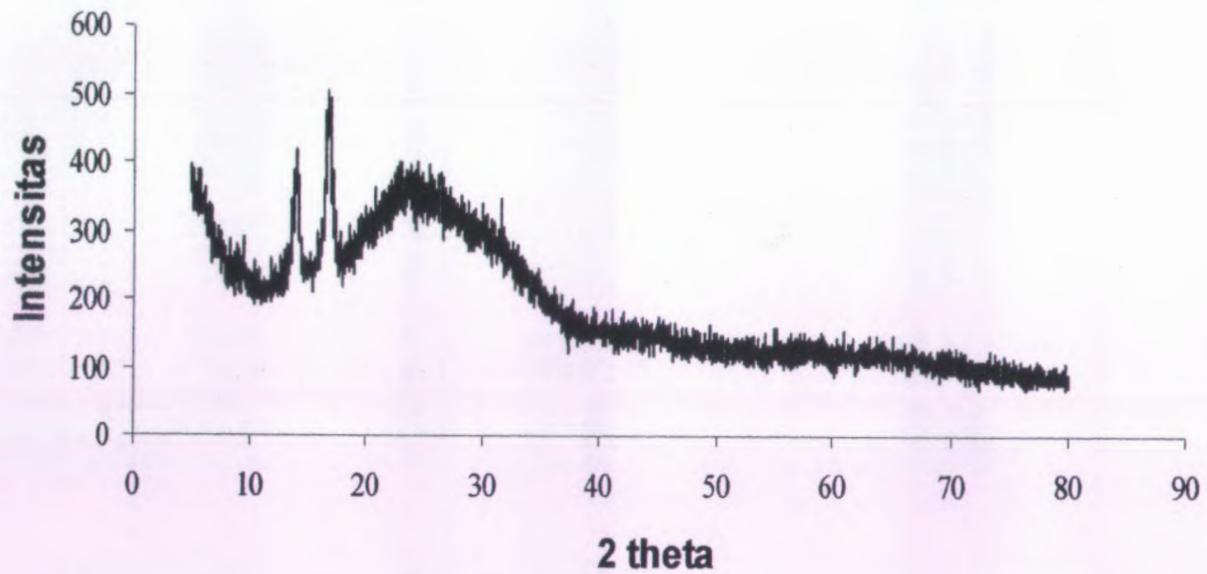
ZrNiAl + Cu ($0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm²)



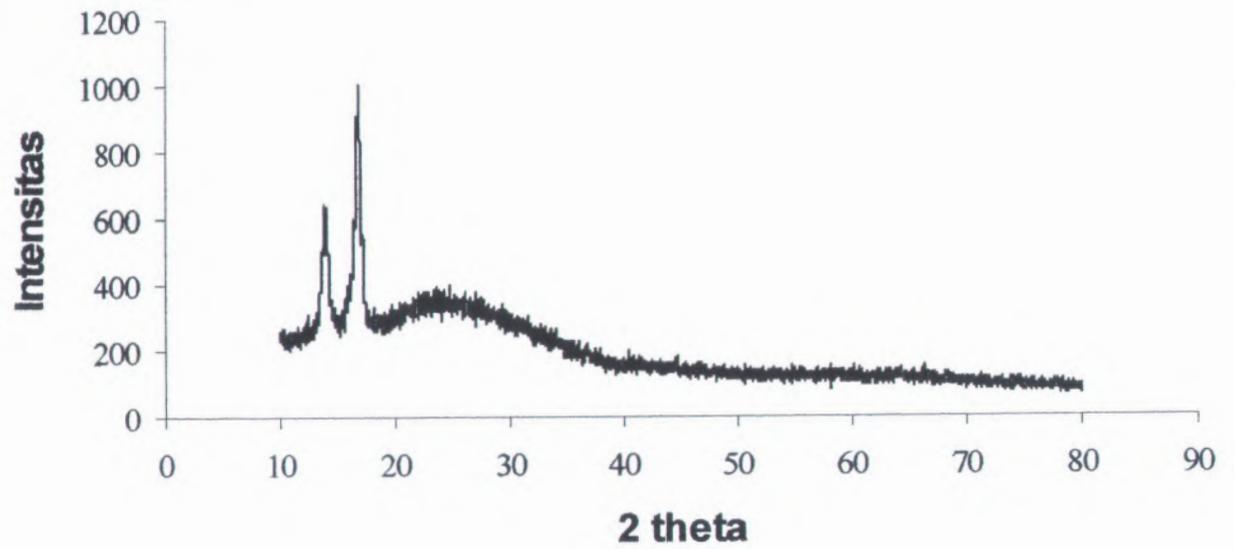
ZrNiAl + Cu ($1,7892 \times 10^{16}$ ion/cm²)



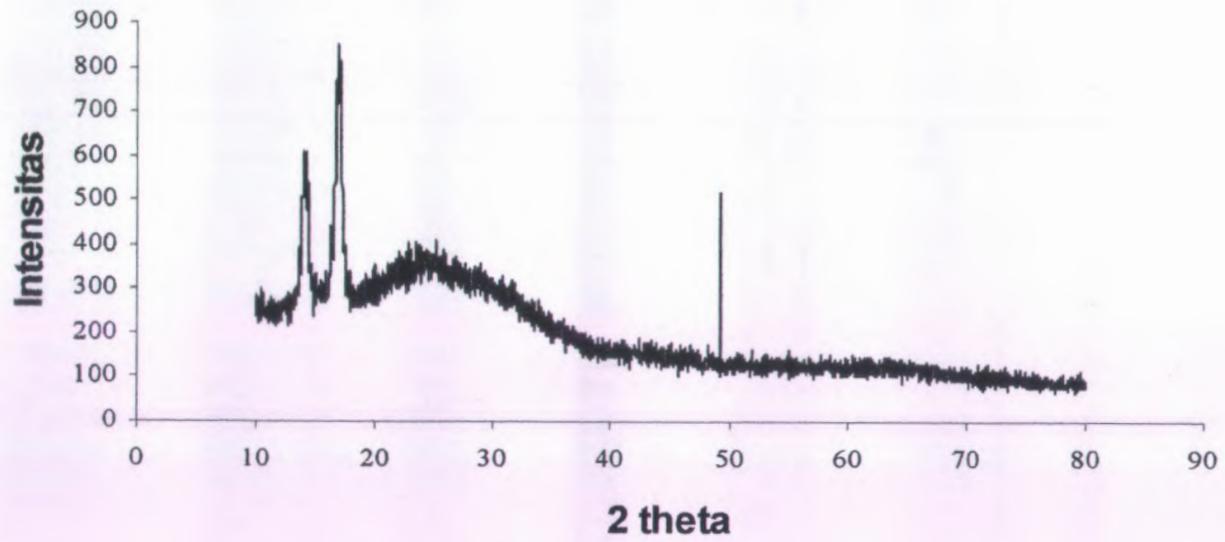
ZrNiAl + Cu ($2,982 \times 10^{16}$ ion/cm²)



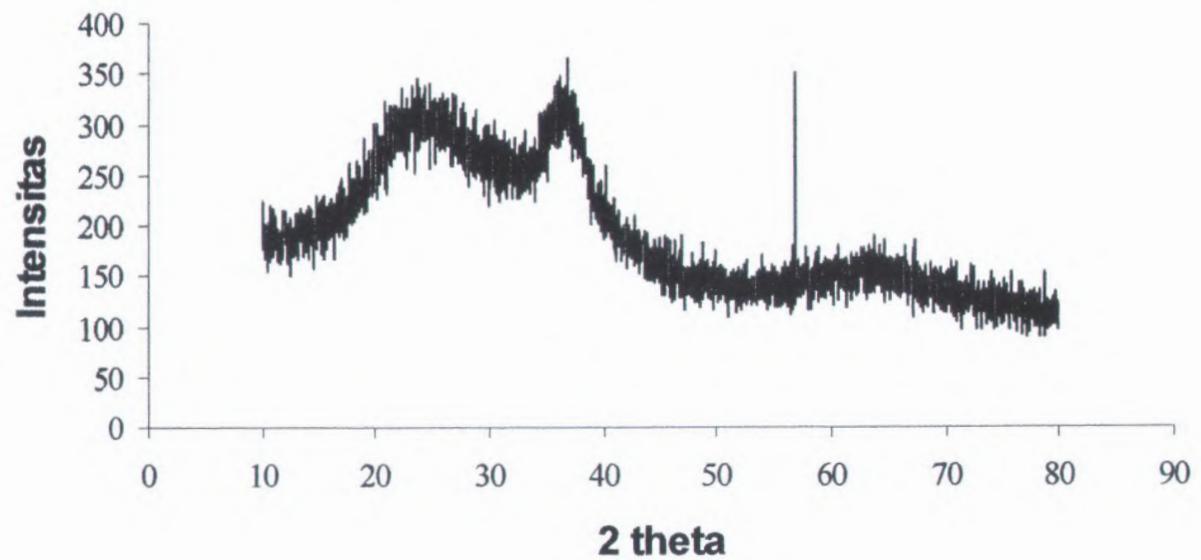
ZrCuAl+ Pemanasan 420⁰C



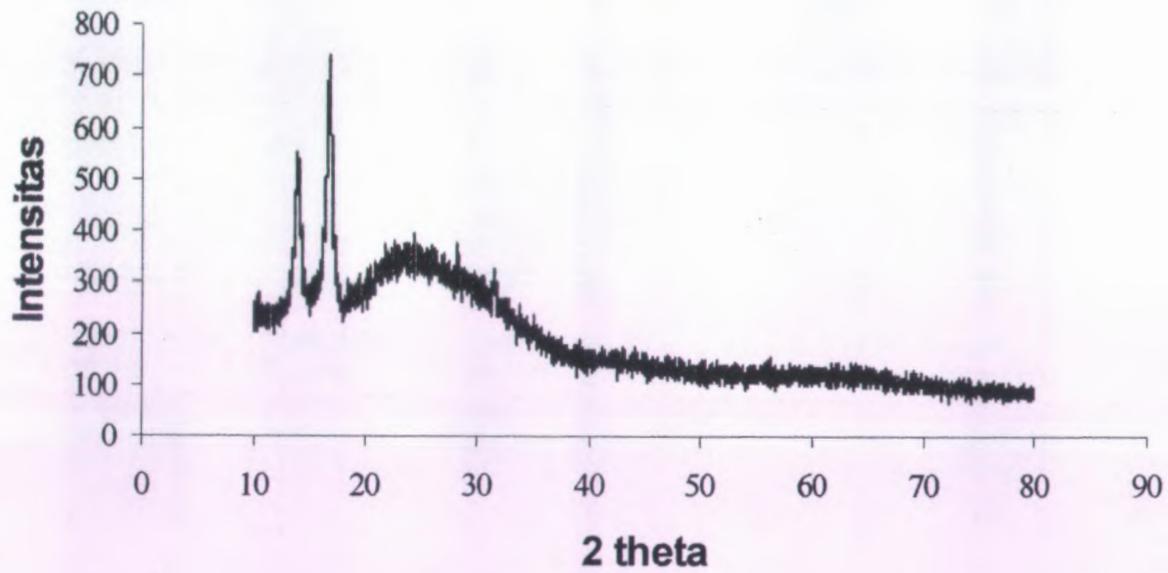
ZrCuAl+ Ni ($0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm²) +Pemanasan 420⁰C



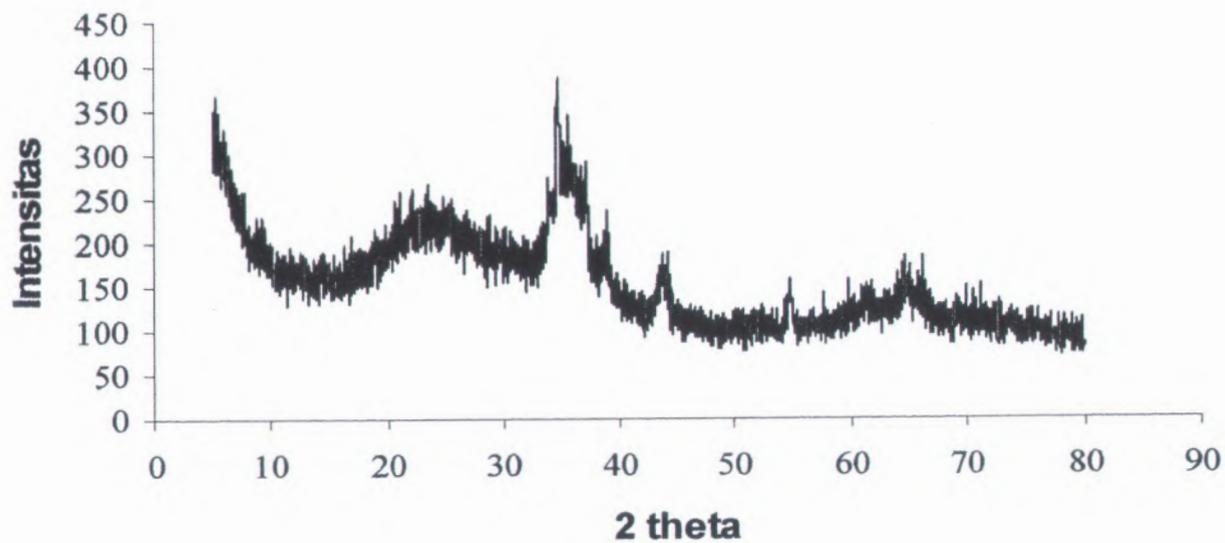
ZrCuAl+ Ni ($1,7892 \times 10^{16}$ ion/cm²) +Pemanasan 420⁰C



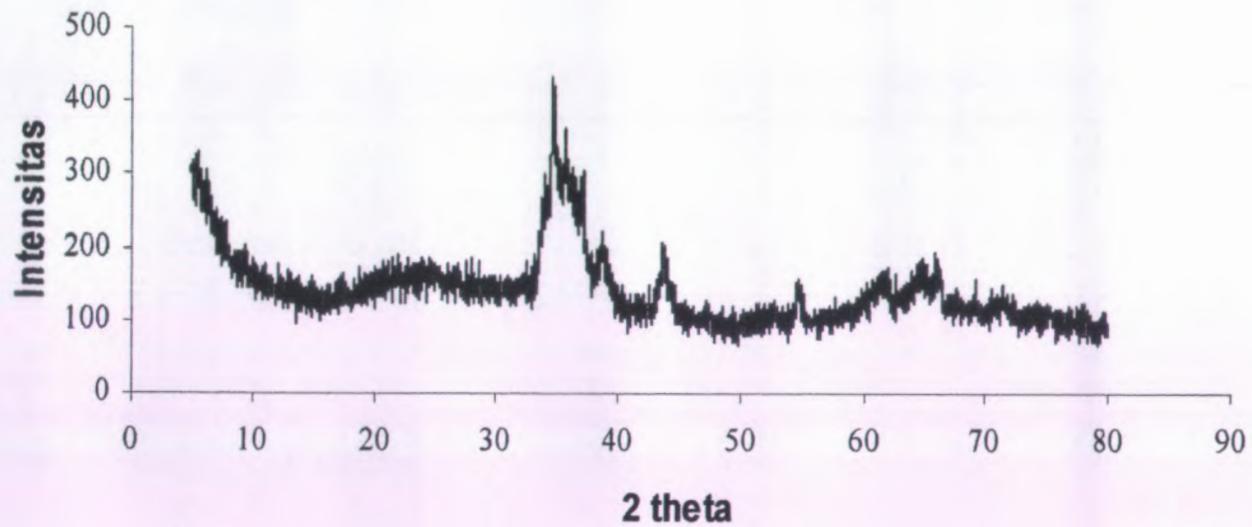
ZrCuAl+ Ni ($2,982 \times 10^{16}$ ion/cm²) +Pemanasan 420⁰C



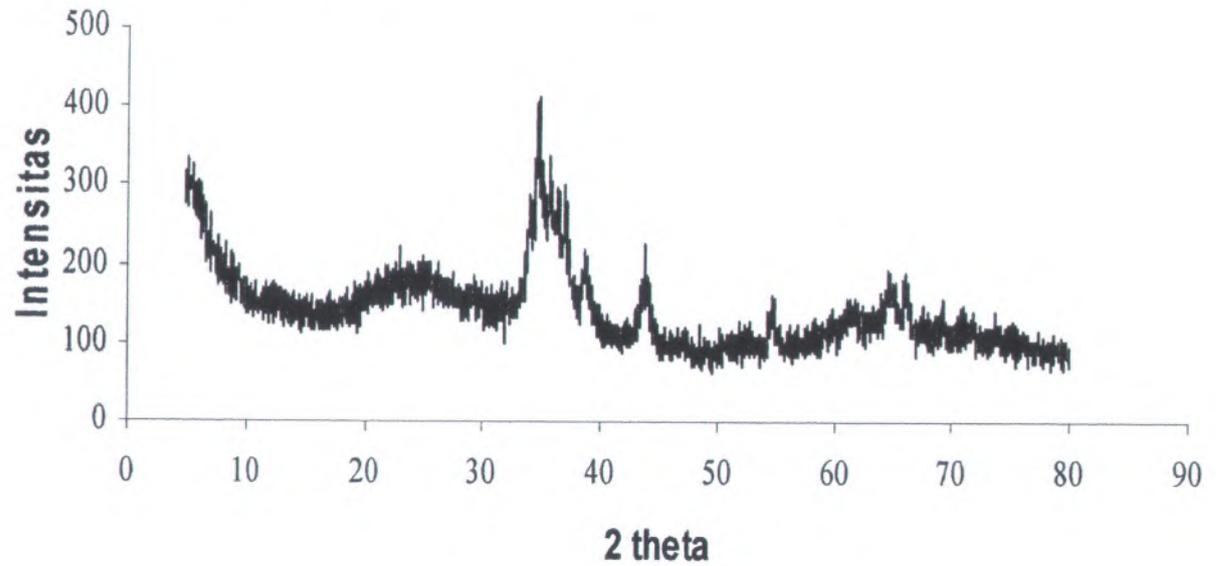
ZrNiAl +Pemanasan 420⁰C



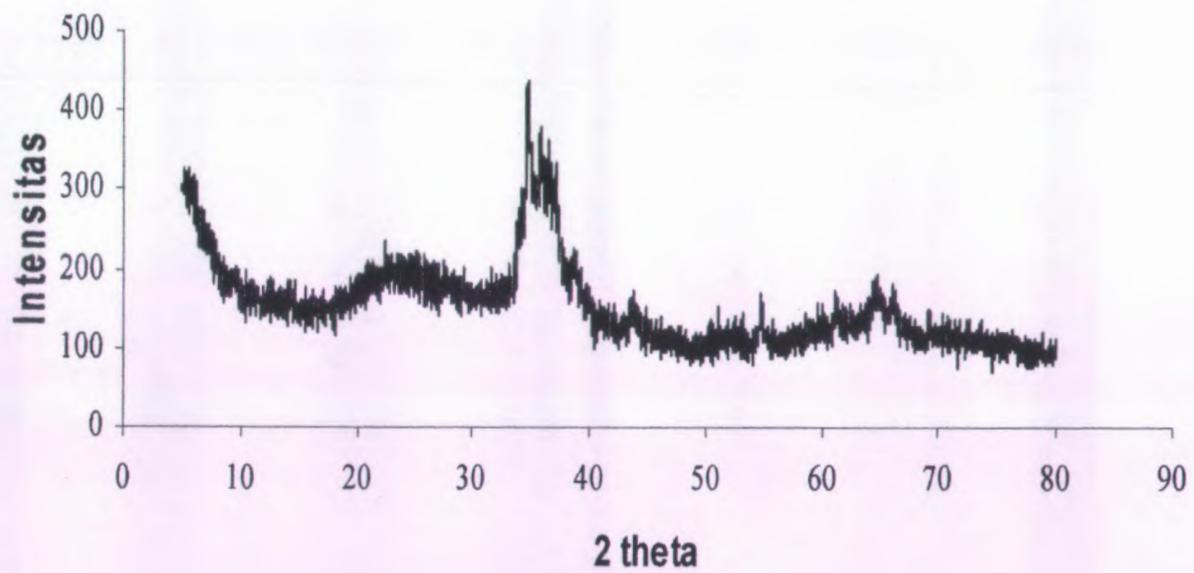
ZrNiAl + Cu ($0,5964 \times 10^{16}$ ion/cm²) + Pemanasan 420⁰C



ZrNiAl + Cu ($1,7892 \times 10^{16}$ ion/cm²) + Pemanasan 420⁰C



ZrNiAl + Cu ($2,892 \times 10^{16}$ ion/cm²) + Pemanasan 420⁰C



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Pamekasan, 09 Juni 1985, merupakan anak ke delapan dari pasangan Bapak Baihaki dan Ibu Jatimah. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Muslimat II NU Dasok Pademawu, SDN Dasok III Pademawu-Pamekasan, MTsN Pademawu-Pamekasan dan MAN Jungcangcang-Pamekasan. Setelah lulus dari MAN tahun 2003, penulis diterima di Jurusan Fisika FMIPA-ITS melalui jalur PMDK pada tahun 2003 dan terdaftar dengan NRP. 1103100013.

Di Jurusan Fisika FMIPA ITS ini penulis mengambil bidang Studi Material. Penulis sempat aktif di beberapa organisasi seperti, Jamaah Masjid Manarul Ilmi (JMMI) ITS, Forum Studi Islam Fisika (FOSIF) ITS. Penulis juga aktif sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar.