

# ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR NORMALIZING DAN MEDIA PENDINGIN TERHADAP STRUKTUR MIKRO, IDENTIFIKASI FASA DAN KEKERASAN PADA PADUAN INGAT BENTUK CuZnFe

Budiarto<sup>1</sup> dan Dian Triawisha Khusma<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Progam Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

\*Penulis Untuk Korespondensi budidamz@yahoo.com

<sup>2</sup>Progam Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya  
[dhian.triawisha@gmail.com](mailto:dhian.triawisha@gmail.com)

**ABSTRAK** - Telah dilakukan analisis pengaruh temperatur normalizing dan media pendinginan cepat terhadap struktur mikro, identifikasi fasa dan kekerasan pada paduan ingat bentuk (PIB) CuZnFe. Paduan ingat bentuk banyak digunakan di bidang kedokteran, bidang industri, bidang telekomunikasi, dan bidang otomotif karena memiliki efek super elastisitas. Sampel PIB CuZnFe diberi perlakuan panas pada temperatur 350<sup>0</sup> C, 400<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup> C dengan waktu penahanan 30 menit kemudian di *quenching* pada media pendingin air, udara dan oli. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur kristal menggunakan alat difraktometer sinar-x, struktur mikro dan komposisi kimia dengan alat SEM-EDAX serta kekerasan dengan metode *Rockwell*. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan adanya fasa martensit berbentuk pelat-pelat lamelar atau keteraturan garis-garis yang hampir vertikal yang berpori (berupa titik-titik hitam) yang disebut *twinned martensite* sedangkan fasa austenit ditandai dengan daerah yang lebih terang disekitar fasa martensit dan komposisi kimia yang dimiliki sampel sesuai dengan standar DIN. Hasil pengujian struktur Kristal dan identifikasi fasa menunjukkan terdapat tiga puncak tertinggi pada sampel asli memiliki sudut 2 $\theta$  adalah 31,2772<sup>0</sup>, 42,2818<sup>0</sup> dan 43,3439<sup>0</sup>. Untuk sampel yang dipanaskan dan di celupcepat tidak menunjukan perubahan yang berarti dimana sampel yang dipanaskan pada 350<sup>0</sup> C dan di celupcepat pada media pendingin oli memiliki sudut 2 $\theta$  adalah 42,4558<sup>0</sup>, 43,4901<sup>0</sup>, 79,63010<sup>0</sup>, pada sampel yang dipanaskan pada 450<sup>0</sup> di celupcepat pada media pendingin air sudut 2 $\theta$  adalah 42,0659<sup>0</sup>, 43,1199<sup>0</sup>, 48,9592<sup>0</sup> dengan bidang hkl (1 1 1), (2 1 1), (2 0 0) dengan membentuk fasa  $\beta$ -martensit dan bidang hkl (1 1 0) berfasa  $\beta_1$ -martensit. Hasil pengukuran kekerasan diperoleh nilai 72 HRb hingga 87,5 HRb dengan batas standar nilai kekerasan PIB 90 HRb (sampel asli). Dengan adanya karakteristik yang diperoleh dari hasil pengujian maka sampel PIB CuZnFe termasuk dalam paduan ingat bentuk berbasis tembaga.

**Kata Kunci** : paduan ingat bentuk CuZnFe, celup cepat, struktur kristal, struktur mikro, kekerasan

**ABSTRACT** - The analyzed effect of normalizing temperature and rapid cooling media to microstructure, phase identification and hardness on shape memory alloys (PIB) CuZnFe has been done. Shape memory alloys are widely used in medicine, industry, telecommunications, and the automotive sector because it has the effect of super elasticity. The sample CuZnFe heat-treated at a temperature of 350<sup>0</sup> C, 400<sup>0</sup> C and 450<sup>0</sup> C with a 30 minutes holding time later are quenching with the medium of cooling water, air and oil. Furthermore the testing on crystal structures by using x-ray diffractometer, microstructure and chemical composition by using SEM-EDAX tools and hardness testing with Rockwell method. The observation of the microstructure is showing that there is martensite phase shaped-like lamellar plates or regularity lines almost vertical porous (such as black dots) which called twinned martensite while the austenite phase is characterized by the brightest regions around the phase martensite and chemical composition owned the samples in accordance with DIN standards. The crystal structure of the test results and the identification phase showed that there are three highest peaks in the original sample have at an angle  $2\theta$  is 31.2772<sup>0</sup>, 42.2818<sup>0</sup> and 43.3439<sup>0</sup>. For samples that are heated and in quenching did not show any significant change where samples were heated at 350<sup>0</sup> C and in quenching the oil cooler media have at an angle  $2\theta$  is 42.4558<sup>0</sup>, 43.4901<sup>0</sup>, 79.6301<sup>0</sup>, in the samples heated at 450<sup>0</sup> quenched on water cooling medium angle  $2\theta$  is 42.0659<sup>0</sup>, 43.1199<sup>0</sup>, 48.9592<sup>0</sup> with field hkl (1 1 1), (2 1 1), (2 0 0) to form a  $\beta$ -martensite phase and field hkl (1 1 0) with  $\beta_1$ -martensite phase. The hardness measurement results obtained by the value of 72 HRB hardness up to HRB 87.5 with a standard limit value of 90 HRB hardness PIB (original sample). With the character that has been obtained from the testing of the samples PIB CuZnFe are included in the copper-based shape memory alloys.

**Key word** : shape memory alloy CuZnFe, quenched, crystale structure, micro structure, hardness

## I. PENDAHULUAN

Salah satu paduan yang ada dan berkembang adalah paduan ingat bentuk berbasis tembaga. Paduan ini diaplikasikan pada berbagai komponen otomotif, thermostat, sistem pengontrol pada pesawat luar angkasa, alat bantu untuk meratakan gigi, sistem pengamanan dan lainnya (Triyana, 2007). Paduan ingat bentuk dikenal sebagai bahan yang unik karena memiliki efek super elastisitas dan efek ingatan termal (*thermal memory*). Efek superelastisitas terjadi tanpa perubahan suhu, sedangkan efek ingatan termal terjadi seiring dengan kenaikan suhu material tersebut (Sunendar, dkk, 2006).

Sifat ingat bentuk pada suatu material dihasilkan sebagai akibat terjadinya perubahan struktur kristal (siklus transformasi) didalam material yang dapat berlangsung secara *reversible* apabila terhadap material tersebut diberikan pemanasan dan pendinginan (Sukaryo, dkk, 2004). Struktur kristal tersebut adalah struktur kristal austenit dan martensit.

Perlakuan panas pada temperature tertentu (*heat treatment*) lazim dimanfaatkan untuk siklus transformasi martensit yang diikuti pendinginan cepat (*quenching*) pada suatu media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda sehingga berpengaruh pada sifat mekanik dan struktur mikro pada suatu logam (Purwanto, 2011).

Fasa martensit yang terlihat pada mikrostruktur yang berupa pelat-pelat atau lamelar-lamelar yang biasanya mengakibatkan ukuran butiran semakin besar sehingga

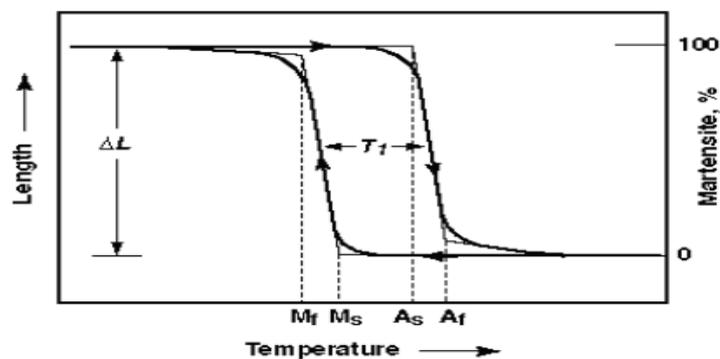
sifat mampu bentuk paduan umumnya relatif rendah (sebagai akibat dari ukuran butir fasa  $\beta$  yang besar dan terkenal dengan harga kekerasannya tinggi) (Adjiantoro,B dan Budiarto, 2000).

## II.DASAR TEORI

### 2.1 Paduan Ingat Bentuk (PIB)

PIB merupakan *smart material* yang peka dan mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi, dalam hal ini kondisi termal (kalor). Paduan ini memiliki nama lain yaitu *Shape Memory Alloy* (SMA) yang mempunyai sifat pemulihan regangan dan tegangan apabila dipanaskan dan pendinginan yang disebabkan terjadinya perubahan struktur kristal (siklus transformasi) didalam material yang dapat berlangsung secara *reversible*.

Mekanisme perubahan struktur kristal pada paduan ingat bentuk ditandai karena adanya transformasi fasa austenit-martensit yang *reversibel* dan termoplastik pada jangkauan suhu tertentu (suhu transformasi)(Sukaryo, 2004). Pada gambar 1 terdapat empat suhu yang menentukan perubahan fasa paduan ingat bentuk. Ms dan Mf menandai awal dan akhir terbentuknya fasa martensit, sedangkan As dan Af menandai awal dan akhir terbentuknya fasa austenite. Efek ingat bentuk dapat diamati ketika spesimen paduan ingat bentuk didinginkan menuju suhu yang lebih rendah dari Mf dan dapat kembali ke bentuk asalnya dengan memanaskannya hingga suhu di atas Af. Paduan ingat bentuk akan menyerap kalor untuk menata kembali struktur molekulnya dari martensite menuju austenite. Peristiwa ini mengakibatkan efek histeris suhu dengan kurva histeris yang berbeda-beda. (Sunendar, dkk, 2006).



**Gambar 1.**Empat suhu transformasi (Mf, Ms,As, Af) dan Kurva histeresis (T1) dari sistem paduan ingat bentuk

Paduan ingat bentuk yang sedang berkembang diantaranya paduan Ni-Ti dan paduan berbasis tembaga dengan karakteristik sebagai berikut :

#### 1. Paduan Ni-Ti

Pada struktur mikro fasa martensit ditandai oleh pelat-pelat lamelar yang terdistribusi acak pada matrik. Struktur ini menunjukkan pembentukan fasa martensit ini dimungkinkan karena temperatur pemanasan cukup memadai untuk menciptakan energi pendorong terjadinya transformasi tanpa difusi (diffusionless) dari fasa  $\gamma$  ke fasa martensit (Panjaitan, Elman dan Sulistioso G.S, 2000)

#### 2. Paduan Berbasis Tembaga

Pada struktur mikro berupa pelat-pelat lamelar yang menyerupai duri ikan yang pori (berupa titik-titik hitam) dan garis-garis yang teratur menunjukkan keberadaan

struktur martensite. Pengamatan atas keteraturan garis-garis yang hampir vertikal tersebut menunjukkan eksisnya *fasa twinned martensite* (Sunendar, dkk, 2006)

Pada hasil penelitian struktur kristal pola difraksi mempunyai struktur kubus pemusat muka atau fcc (*face center cubic*) . jenis kristal biasanya untuk logam Fe, Cu, Ni dan lainnya. Sel FCC terdiri dari satu titik lattice pada setiap sudut dan satu titik lattice pada setiap sisi kubus (Prasetyowati, R, 2012). Fasa yang terbentuk adalah martensit  $\beta$  dengan parameter kisi  $a = 2,950128 \text{ \AA}$  dengan rentang jarak sudut  $2\theta$  adalah  $43,417^\circ$  dengan bidang hkl (111) (200), (220) dan lainnya (Adjiantoro, B dan Budiarto, 2000). Selain itu menurut Bambang Sunendar, Suyatman dan Christian Sungkono (2006) pola difraksi paduan berbasis tembaga memiliki intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 42,117^\circ$  dengan bidang hkl (1 1 0) dan puncak-puncak yang terdapat di daerah  $35^\circ$  sampai dengan  $50^\circ$  diidentifikasi sebagai struktur martensite fasa  $\beta_1$ .

Siklus transformasi pada PIB disebabkan adanya perlakuan panas (heat treatment) dengan jalan memanaskan spesimen pada tungku pemanas dengan temperatur dan periode waktu tertentu kemudian didinginkan dengan celup cepat (*quenching*) pada media pendingin udara, air, air garam, oli dan solar yang memiliki kerapatan pendingin yang berbeda.

*Quenching* dilakukan hingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup sehingga mencapai nilai kekerasan logam yang kita inginkan. Waktu pemanasan ini bisa disebut juga sebagai waktu penahanan (*holding time*) dimana waktu ini berpengaruh pada saat transformasi. Apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak sempurna dan tidak homogeny. Pada *quenching*, proses yang paling cepat akan menghasilkan kekerasan tertinggi (Surdia, Tata dan Saito, 1992).

## 2.2 Media pendingin

Keberhasilan suatu proses pengerasan atau pengerjaan panas dari logam sangat dipengaruhi oleh kecepatan pendinginan. Kecepatan pendinginan yang lebih tinggi akan lebih cepat terjadinya kelarutan karbida sehingga perlu direncanakan dan diketahui proses pendinginan yang akan dilakukan serta media pendingin yang akan dipakai (Pollack dalam Sumaraw, 2010). Kecepatan laju pendinginan juga mempengaruhi perpindahan panas dan konduktivitas termal pada sampel terhadap media pendingin yang secara matematis dapat ditulis dengan persamaan :

$$H = kA \frac{\Delta T}{l}$$

dengan  $k$  adalah koefisien konduksi termal zat atau konduktivitas termal ( $J s^{-1} m^{-1} K^{-1}$ ),  $\Delta T$  dinyatakan dalam K,  $A$  dinyatakan dalam  $m^2$ ,  $l$  dinyatakan dalam m, maka  $H$  dinyatakan dalam  $J s^{-1}$ .

Semakin cepat logam didinginkan maka akan semakin keras sifat logam itu (Mu'afax, Budi Harjanto, dan Suharno, 2013). Adapun Medium pendingin yang sering digunakan khususnya pada proses pengerasan adalah :

### 1. Air

Pendinginan dengan menggunakan air akan memberikan daya pendinginan yang cepat. Air memiliki karakteristik, pada kisaran suhu yang sesuai bagi kehidupan, yakni  $0^\circ \text{ C}$  ( $32^\circ \text{ F}$ ) –  $100^\circ \text{ C}$  air berwujud cair. Pada Suhu  $0^\circ \text{ C}$  merupakan titik beku (*freezing point*) dan suhu  $100^\circ \text{ C}$  merupakan titik didih (boiling point) air. Perubahan suhu air berlangsung lambat sehingga air memiliki sifat sebagai penyimpan panas yang sangat baik (Murtiono, 2012)

### 2. Minyak

Minyak yang digunakan sebagai fluida pendingin dalam perlakuan panas adalah benda kerja yang diolah. Derajat kekentalan (*viscosity*) berpengaruh pada *severity of*

*quench*. Jenis minyak mineral yang sering dipakai untuk aplikasi *quenching* pada temperatur yaitu oli khusus, *oil quench* (Septianto dan Setiyorini, 2013).

### 3. Udara

Pendinginan udara dilakukan untuk perlakuan panas yang membutuhkan pendinginan lambat. Udara sebagai pendingin akan memberikan kesempatan kepada logam untuk membentuk kristal-kristal dan kemungkinan mengikat unsur-unsur lain dari udara. Adapun pendinginan pada udara terbuka akan memberikan oksidasi oksigen terhadap proses pendinginan. Media pendingin yang paling cepat mendinginkan adalah air kemudian oli dan yang paling lambat adalah udara. Kecepatan atau laju pendinginan sangat mempengaruhi struktur mikro (*grain size*) dari logam (Siregar, 2007).

### 2.3 Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction (XRD)* digunakan untuk mengidentifikasi struktur kristal dan identifikasi fasa suatu padatan dengan membandingkan nilai jarak  $d$  (bidang kristal) dan intensitas puncak difraksi dengan data standar. XRD menggunakan sinar x sebagai sumber radiasi.

Mekanisme proses dimulai dengan meletakkan sampel pada holder kemudian dinyalakan sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi  $2\theta$  dengan intensitas sinar x yang dipantulkan. Teknik difraksi sinar x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama (Wibisono, 2009).

Sudut difraksi dapat ditentukan dari persamaan hukum bragg yaitu :

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin \theta_{hkl}$$

dimana :  $n$  adalah orde difraksi

$\lambda$  adalah panjang gelombang sinar x

$d_{hkl}$  adalah jarak antar bidang difraksi dengan indeks miller  $hkl$

$\theta$  adalah sudut difraksi bragg untuk bidang difraksi

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa jika panjang gelombang sinar x yang digunakan diketahui dan sudut  $\theta_{hkl}$  diukur, dimungkinkan untuk menentukan jarak antar bidang difraksi,  $d_{hkl}$ . Untuk struktur kubik jarak ( $d$ ) bidang difraksi berhubungan dengan parameter kisi struktur kristal dengan persamaan berikut :

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

dimana :  $a$  adalah parameter kisi

$hkl$  adalah indeks miller bidang

$d_{hkl}$  adalah jarak antar bidang

Jika data XRD sudah diperoleh, dilakukan identifikasi puncak-puncak grafik XRD dengan cara mencocokkan puncak yang ada pada grafik tersebut dengan database ICDD.

## 2.4 Pengujian SEM-EDAXS(*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Analysis X-ray Spectrometry*)

SEM merupakan sebuah mikroskop elektron yang berfungsi untuk melihat atau menganalisa suatu permukaan dari sampel dengan cara menembakkan elektron dengan energy tinggi pada sampel (Nurhati, 2010).

SEM dapat mengamati struktur maupun bentuk permukaan yang berskala lebih halus, Dilengkapi Dengan EDS (*Electron Dispersive X ray Spectroscopy*) atau ada yang menyebut dengan EDX, merupakan suatu teknik analisis yang digunakan untuk menganalisis unsur atau karakterisasi kimia dari sampel (Octoviawan N, 2010).

SEM memiliki pembesaran bervariasi mulai dari 500 kali sampai 10.000 kali pembesaran sehingga dapat menunjukkan bagian-bagian yang tidak terlihat ketika diuji dengan mikroskop tinggi. Molekul gas (dalam hal ini gas nitrogen akan menangkap elektron sehingga elektron yang terhambur akan mengenai benda uji (Siregar, 2007)

## 2.5 Pengujian Kekerasan

Kekerasan logam dapat diartikan sebagai ketahanan suatu bahan logam terhadap penekanan, dan memberikan indikasi cepat mengenai perilaku deformasi (Murtiono, 2012). Penekanan terhadap suatu bahan dapat berupa mekanisme penggoresan (*stratching*), pantulan ataupun indentasi dari material terhadap suatu permukaan benda uji. Salah satu bentuk pengujian kekerasan dengan metode indentasi adalah pengujian dengan metode *cone indentation test (rockwell)*.

Uji kekerasan *rockwell* ini didasarkan kepada penekanan sebuah *indentor* dengan suatu gaya tekan tertentu ke permukaan yang rata dan bersih dari suatu logam yang diuji kekerasannya. Angka kekerasan *rockwell* atau *rockwell hardness number* dilambangkan dengan HR yang merupakan suatu singkatan dari kekerasan *rockwell* atau dapat disingkat dengan huruf R saja (Nugroho Untung, 2010). Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Bahan dan Alat

**Bahan-Bahan** yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Paduan CuZnFe berbentuk pelat
2. Air PDAM 1 L sebagai media pendingin
3. Udara sebagai media pendingin
4. Oli merk mesran dengan SAE 401 L sebagai media pendingin
5. Amplas ukuran 400, 800, 1200 dan Pasta alumina ( $Al_2O_3$ ) 20  $\mu m$ .

**Alat-alat** yang digunakan pada penelitian ini adalah

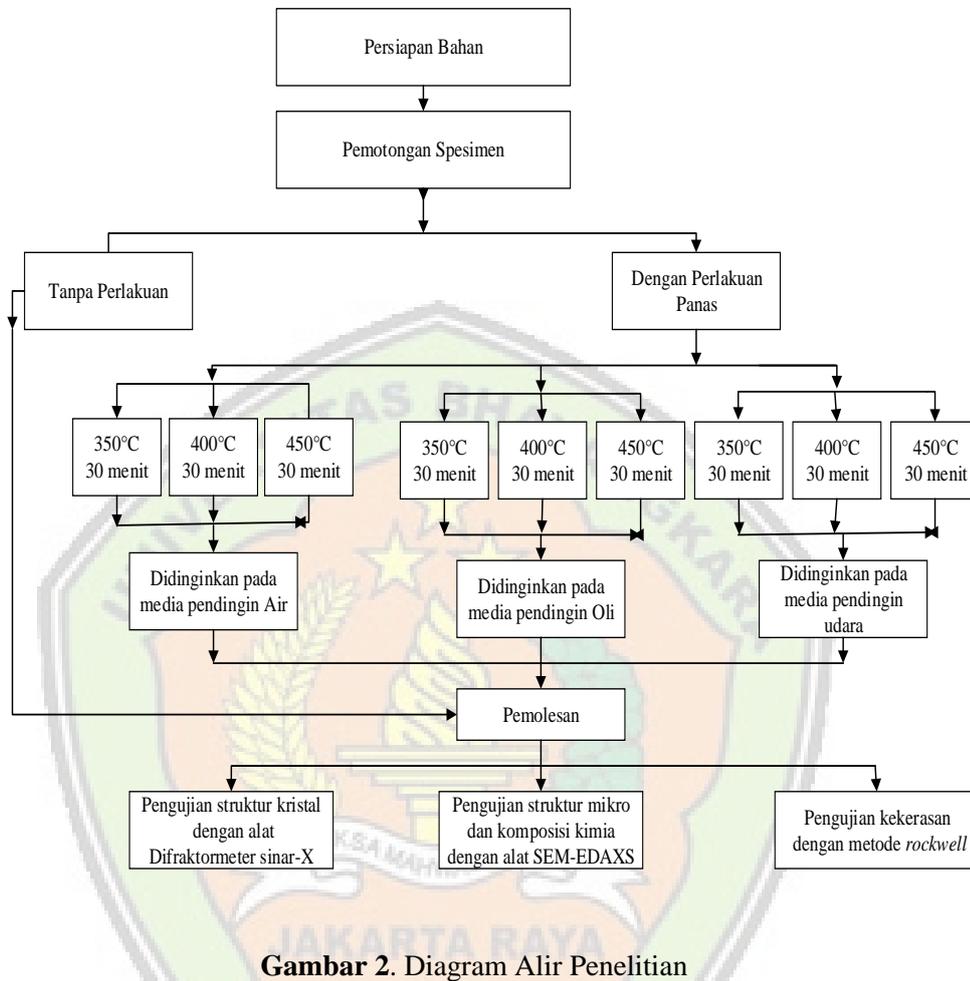
1. Tungku pemanas listrik merk Nerct-Jerman
2. Gerinda potong
3. Bak sebagai penampung media pendingin air dan oli
4. Penjepit untuk material uji
5. Difraktometer sinar x merk *Shimadzu* untuk uji struktur kristal
6. SEM-EDAXS merk EVO MA10, Carl Zeiss sebagai alat pengujian struktur mikro dan komposisi kimia
7. Alat uji kekerasan dengan metode *Rockwell*, Merck Torsee type RH-3N

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel tetap, variabel berubah dan variabel terikat. Variabel tetap dalam penelitian ini adalah Variabel tetap yang digunakan adalah proses *quenching* dengan waktu penahanan 30 menit.

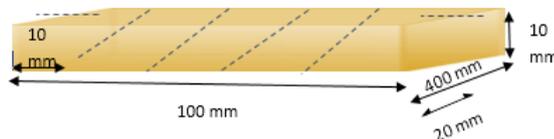
Variabel berubah dilakukan dengan variasi media pendingin yang terdiri dari udara, air dan oli dan temperatur pada proses heat treatment yaitu 350<sup>o</sup> C, 400<sup>o</sup>C dan 450<sup>o</sup>C. Dengan variabel terikat adalah struktur kristal, struktur mikro dan kekerasan.

### 3.3 Prosedur Penelitian



#### Persiapan Sampel

Sampel untuk penelitian metalografik dipotong dan dipreparasi dari bentuk pelat yang mempunyai ukuran 100mm x 40mm x 10mm menjadi bentuk kubus dengan jumlah 10 buah yang masing-masing berukuran 10mm x 10 mm x 20 mm dengan mesin gerinda potong



Keterangan : .....= garis potong

**Gambar 3.** Sampel Penelitian

Adapun standar komposisi sampel untuk paduan ingat bentuk berbasis tembaga yang mengacu pada standarDIN (*Deutsches Institut für Normung*)

**Tabel 1.** Komposisi kimia Paduan Ingat Bentuk CuZnFe

	%	Cu	Zn	Fe
<b>Standar DIN</b>	<b>Min</b>	40,0	20,0	1.00
	<b>Maks</b>	62,0	38,0	1.60

### **Proses Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)**

Proses *heat treatment* normalizing dilakukan pada temperatur 350°C, 400°C, dan 450°C dengan waktu penahanan 30 menit menggunakan tungku pemanas listrik merk Nerct-Jerman. Kemudian sampel didinginkan dengan celup cepat kedalam media pendingin yaitu air, oli dan udara hingga mencapai temperatur ruangan.

### **Pemolesan**

Tahap pemolesan diawali dengan pengamplasan yang dilakukan secara kasar dan halus. Preparasi awal dengan mengamplas sampel yang dimulai dengan amplas yang paling kasar sampai paling halus, yaitu dimulai dari amplas bernomor 400, 600, dan 1200. Untuk setiap perubahan nomor amplas dilakukan perubahan arah pengamplasan hingga arah sebelumnya hilang. Setelah semua sampel diamplas dilanjutkan dengan pemolesan yaitu dengan menggunakan kain beludru yang diberi pasta alumina 20 µm untuk memperoleh permukaan mirip cermin.

### **Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)**

Pengujian *x-ray diffraction* dilakukan untuk mengetahui struktur kristal dari fasa-fasa yang terdapat pada benda uji mulai keadaan awal sampai diberi perlakuan panas. Sumber radiasi digunakan berkas Cu-K $\alpha_1$  dengan panjang gelombang elektromagnetik ( $\lambda$ ) sebesar 1,5406 Å. Scan step XRD dilakukan sebesar 0,020° mulai dari sudut 2 $\theta$  sebesar 20.000° hingga 100.000°. Dengan menggunakan data XRD, maka dapat dilakukan proses identifikasi selanjutnya terhadap struktur dari sampel dengan cara mencocokkan tiga puncak tertinggi dari kurva XRD dengan database ICDD, menggunakan software “*Shimadzu XRD 7000*”.

### **Pengujian SEM-EDAXS**

Mekanisme kerja dalam pengujian ini diawali dengan memasukan sampel pada alat SEM kemudian letakan pada holder yang berbentuk bulat, kemudian divakum terlebih dahulu selama  $\pm 1$  menit. Atur posisi sampel yang akan dilakukan penembakan untuk melihat struktur mikronya, lakukan perbesaran 2000, 6000 dan 10000 kali. Setelah itu dilakukan penembakan untuk mengetahui komposisi unsur kimia dengan EDAXS. Data-data hasil SEM dan EDAXS dilihat menggunakan *software* tertentu yang terhubung dengan komputer.

### **Pengujian dengan Metode Rockwell**

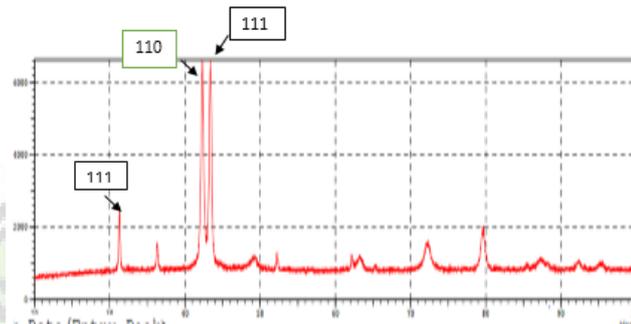
Pada pengujian kekerasan metode *rockwell* didasarkan kepada penekanan sebuah *indenter* dengan suatu gaya tekan tertentu kepermukaan yang rata dan bersih dari suatu sampel yang diuji kekerasannya.

Pada penelitian ini menggunakan rockwell jenis HRb. Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Prosedur pengujian kekerasan dengan metode rockwell adalah sebagai berikut :

1. Pelajari secara seksama alat uji yang akan digunakan yaitu uji *rockwell* jenis HRb.
2. Pasang *indenter* yaitu bola baja (*steel ball*) berukuran  $\varnothing$  1/16 inch.
3. Letakkan sampel pada alat uji *rockwell* ditempat yang tersedia dan menyatel beban yang akan digunakan untuk proses penekanan.
4. Setelah itu ditekan oleh indenter dengan beban minor (*Minor Load*  $F_0$ ) sebesar 10 Kg setelah itu ditekan dengan beban mayor (*Major Load*  $F_1$ ) 100 Kg, kemudian beban mayor diambil sehingga yang tersisa adalah *minor load*
5. Catat nilai kekerasan yang ditunjukkan oleh jarum yang terpasang pada alat ukur berupa *dial indicator pointer* setelah gaya yang diberikan dilepaskan.

#### IV.HASIL DAN PEMBAHASAN

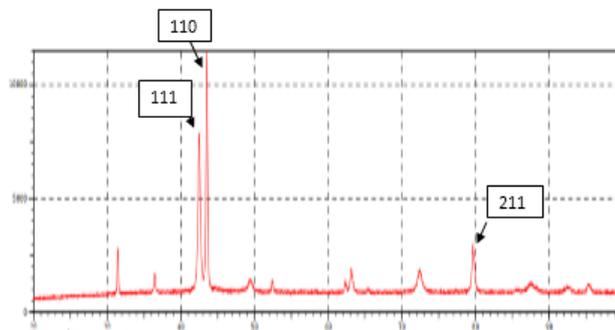
##### 4.1 Analisa pengujian difraktometer sinar-X (XRD)



**Gambar 4.** Pola Difraktogram Sinar -X Sampel Tanpa Perlakuan (Asli)

**Tabel 2.** Hasil XRD Sampel Asli

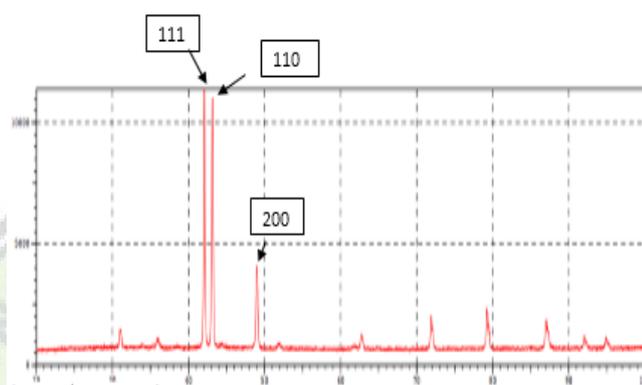
No	Peak	2θ (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk Kristal
1	1	31.2772	2.85753	25	0.25120	1 1 1	β Martensit	FCC
2	4	42.2818	2.13579	99	0.40660	1 1 0	β <sub>1</sub> Martensit	FCC
3	5	43.3439	2.08588	100	0.38040	1 1 1	β Martensit	FCC



**Gambar 5.** Pola Difraktogram Sinar-X Sampel Sampel Dipanaskan Pada Temperatur 350° C dan Media Pendingin Oli

**Tabel 3.** Hasil XRD Sampel Sampel Dipanaskan Pada Temperatur 350<sup>0</sup> C dan Media Pendingin Oli

No	Peak	2θ (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Bidang hkl	Fasa	Bentuk Kristal
1	3	42.4558	2.12744	64	0,31600	1 1 1	Martensit β	FCC
2	4	43.4901	2.07921	100	0.22290	1 1 0	Martensit β <sub>1</sub>	FCC
3	12	79.6310	1.20300	23	0.30430	2 1 1	Martensit β	FCC



**Gambar 6.** Pola Difraktogram Sampel Dipanaskan Pada Temperatur 450<sup>0</sup> C dan Didinginkan Pada Media Pendingin Air

**Tabel 4.** Sampel Dipanaskan Pada Temperatur 450<sup>0</sup> C dan Didinginkan Pada Media Pendingin Air

No	Peak	2θ (deg)	d (Å)	I/II	FWHM (deg)	Bidang g hkl	Fasa	Bentuk Kristal
1	4	42.0659	2.14625	100	0.18140	1 1 1	Martensit β	FCC
2	5	43.1199	2.09620	95	0.19390	1 1 0	Martensit β <sub>1</sub>	FCC
3	6	48.9592	1.85897	32	0.22610	2 0 0	Martensit β	FCC

Gambar 4 dan Tabel 2 merupakan hasil pengujian XRD pada sampel sebelum perlakuan. Dengan data puncak tertinggi dengan sudut 2θ adalah 43.3439<sup>0</sup> yang memiliki indeks miller (hkl) (1 1 1) dengan bentuk kristal FCC. Pola fasa yang terbentuk adalah fasa β martensit untuk dua peak lainnya dan berfasa Martensit β<sub>1</sub> untuk bidang hkl (1 1 0).

Gambar 5 dan gambar 6 merupakan hasil uji XRD pada sampel dengan perlakuan panas. Pola puncak difraktogram menunjukkan hasil perubahan yang tidak signifikan. Pola fasa yang terbentuk sama dengan pola puncak hasil sampel pada sampel PIB asli. Hanya saja terjadi pergeseran sudut 2θ antara 42<sup>0</sup> hingga 79<sup>0</sup> disebabkan karena pada

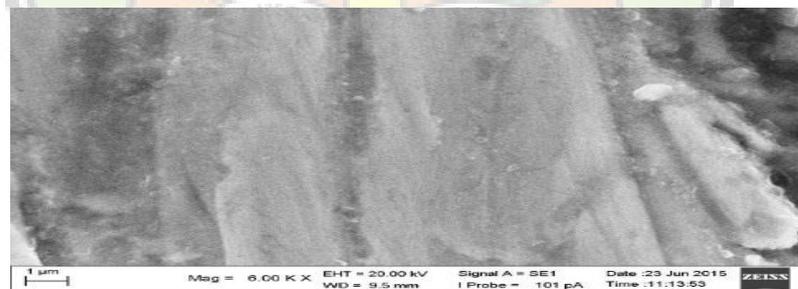
temperatur yang cukup tinggi terjadi proses pelarutan dan terjadi mekanisme difusi atomik yang menghasilkan order-disorder, yang memberi peluang bagi atom-atom berada pada kedudukan yang stabil. Puncak tertinggi pada sampel dengan pemanasan temperatur 350°C kemudian didinginkan pada media pendingin Oli adalah pada sudut  $2\theta$  sebesar 43.4901° dengan intensitas 100 (Tabel 3.) dan puncak tertinggi pada sampel dengan pemanasan temperatur 450° C, kemudian didinginkan pada media pendingin air terlihat data puncak tertinggi dengan sudut  $2\theta$  sebesar 42.0659°. Kedudukan hasil pola difraksi ini sama dengan penelitian Bambang Sunendar, dkk (2006) dan Bintang Adjiantoro dan Budiarto (2000) sehingga sampel ini dapat dikelompokkan sebagai PIB.

#### 4.2 Analisa pengujian SEM EDAXS

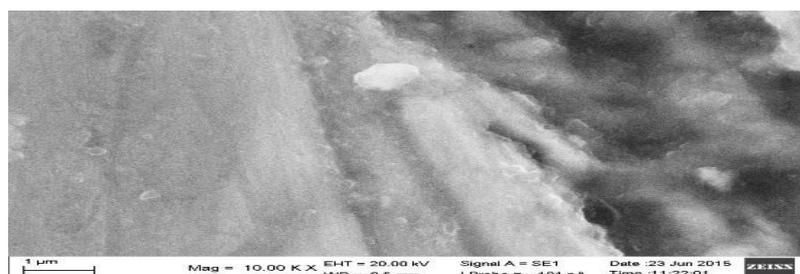
Pengujian SEM-EDAX dilakukan untuk melihat mikrostruktur dari fasa pada sampel dan komposisi kimianya. Hasil uji berupa gambar mikrostruktur dengan perbesaran 2000, 6000 dan 10.000 kali pada masing-masing sampel dan komposisi kimia. Berikut hasil pengujiannya :



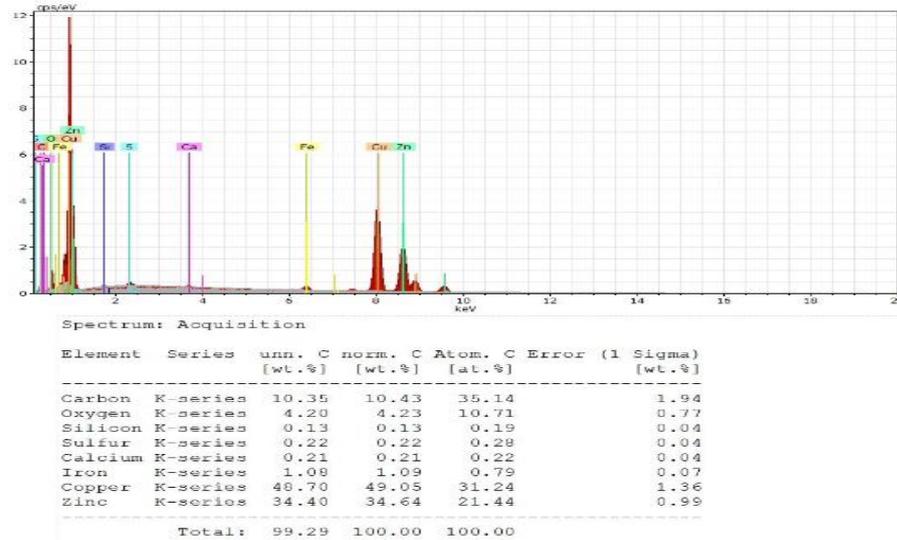
**Gambar 7.** Struktur Mikro Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 350° C dan Didinginkan pada Media Pendingin Air dengan Perbesaran 2000 kali



**Gambar 8.** Struktur Mikro Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 350° C dan Didinginkan pada Media Pendingin Air dengan Perbesaran 6000 Kali



**Gambar 9.** Struktur Mikro Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 350<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Air dengan Perbesaran 10000 Kali

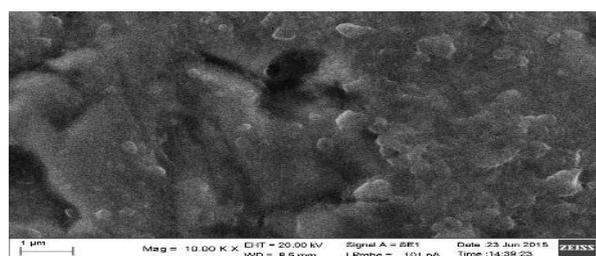


**Gambar 10.** Komposisi Kimia Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 350<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Air

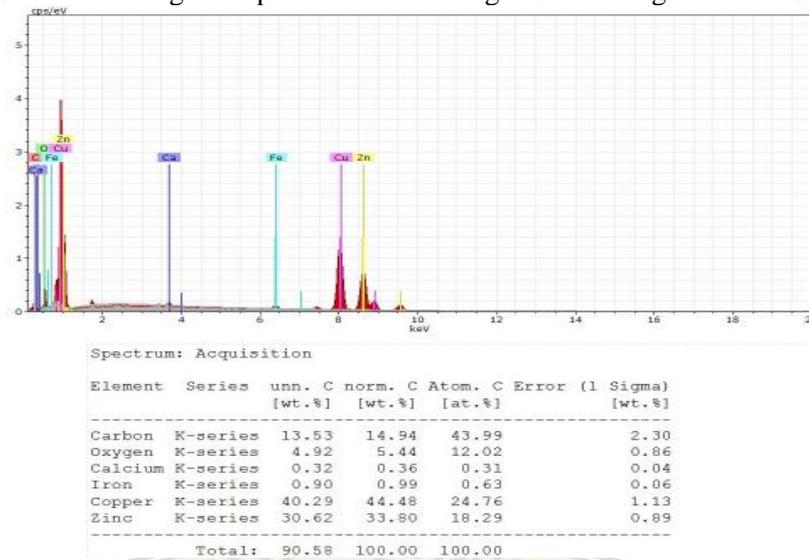
Gambar 7,8 dan 9 merupakan hasil uji SEM –EDAXS dengan perbesaran berturut-turut 2000, 6000 dan 10000 kali. Pada gambar 7 terlihat masa martensit dan austenit yang ditandai dengan adanya pelat-pelat lamelar atau keteraturan garis-garis yang hampir vertikal yang berpori (berupa titik-titik hitam).Garis-garis ini menunjukkan twinned martensite.Dan fasa austenit ditandai dengan daerah yang lebih diterang yang berada disekitar fasa martensit (Panjaitan, E dan Sulistioso G.S, 2000). Bentuk gambar ini juga terlihat pada gambar 11 dan 14 yang merupakan hasil uji pada sampel dengan dipanaskan pada 400<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup> C pada media pendingin udara dan oli.



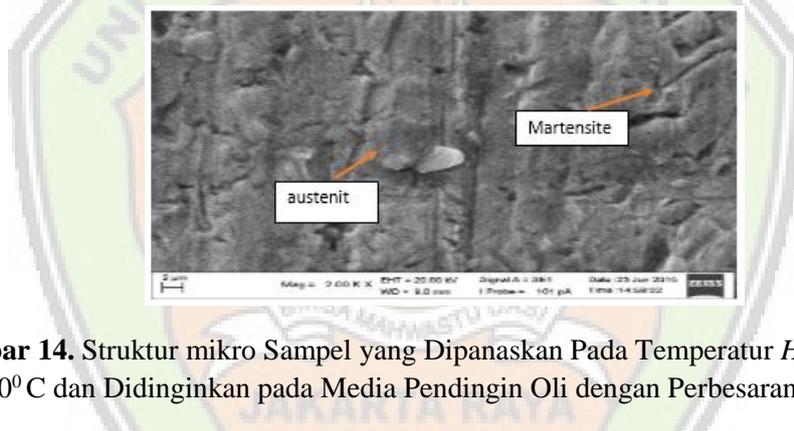
**Gambar 11.** Struktur MikroSampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 400<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Udara dengan Perbesaran 2000 Kali



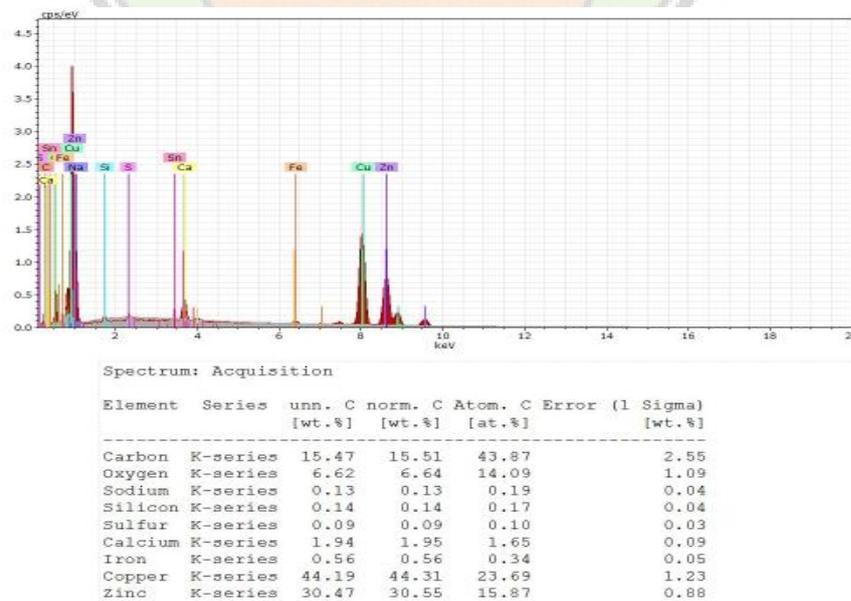
**Gambar 12.** Struktur mikro Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 400<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Udara dengan Pemb.10.000 X



**Gambar 13.** Komposisi Kimia Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 400<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Udara



**Gambar 14.** Struktur mikro Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 450<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Oli dengan Perbesaran 2000 Kali



**Gambar 15.** Komposisi Kimia Sampel yang Dipanaskan Pada Temperatur *Heat Treatment* 450<sup>0</sup> C dan Didinginkan pada Media Pendingin Oli

Pada hasil uji yang didinginkan pada media pendingin oli cenderung lebih hitam karena kandungan karbon yang dimiliki sekitar 15,47 %. Kandungan karbon ini merupakan kandungan tertinggi yang dimiliki oleh sampel yang di uji. Kandungan unsur kimia lainnya pada masing-masing sampel dapat dilihat pada gambar 10, 13 dan 15. Kandungan CuZnFe pada sampel yang dipanaskan pada 350<sup>0</sup> C dan didinginkan pada air sebesar 48,70%wt, 34,40%wt dan 1,08%wt. Sementara untuk sampel yang dipanaskan pada 400<sup>0</sup> C didinginkan udara kandungan CuZnFe sebesar 40,29%wt, 30,62%wt dan 0,9%wt. Selanjutnya untuk pemanasan pada 450<sup>0</sup> C kemudian didinginkan pada oli kandungan CuZnFe sebesar 44,19%wt, 30,47%wt dan 0,56%. Kandungan Fe cenderung menurun akibat kenaikan suhu dan kandungan karbon yang meningkat pada media pendingin oli. Dengan demikian untuk kandungan Cu dan Zn sesuai dengan standart DIN (Tabel 2) sehingga sampel ini dapat dikelompokkan sebagai PIB berbasis tembaga. Adanya struktur martensit mempengaruhi tingkat kekerasan pada sampel.

#### 4.3 Analisa pengujian kekerasan

Salah satu karakteristik sifat mekanik dari material logam adalah dengan uji kekerasan. Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode *rockwell* dengan skala HRb (untuk material *non ferrous* atau material lunak dalam kondisi padat). Berikut data hasil perolehan uji kekerasan:

Pada tabel 5 dan gambar 16 dibawah merupakan hasil Pengujian kekerasan dengan metode *rockwell* pada skala b pada sampel asli memiliki nilai kekerasan 90 HRb. Nilai kekerasan ini sesuai dengan standar yang diberikan sebagai bahan paduan ingat bentuk.

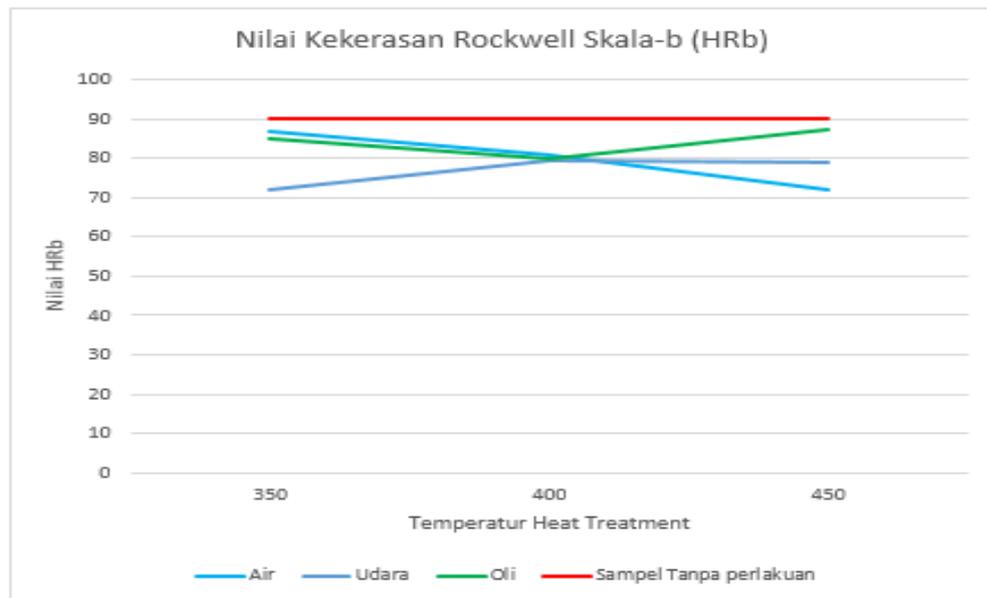
Sedangkan nilai kekerasan sampel yang didinginkan pada media pendingin air dengan diberi perlakuan panas sebelumnya pada temperatur 350<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup>C berturut- turut adalah 87 HRb, 81,5 HRb, dan 72 HRb dengan rata-rata nilai kekerasan pada media pendingin air dengan perolehan kekerasan 80,1667 HRb. Nilai minimum pada sampel ini adalah 87 HRb, dan nilai maksimum 72 HRb.

**Tabel 5.** Data Nilai Kekerasan Rockwell (HRb)

No	Media Pendingin	Temperatur Pemanasan	Nilai Kekerasan ( HRb)	
			Tanpa Pemanasan	Dengan Pemanasan
1.	Asli (Tidak Dipanaskan)	-	90	-
2.	Air	350 <sup>0</sup> C	-	72
3.	Air	400 <sup>0</sup> C	-	81
4.	Air	450 <sup>0</sup> C	-	87,5
5.	Udara	350 <sup>0</sup> C	-	76
6.	Udara	400 <sup>0</sup> C	-	79
7.	Udara	450 <sup>0</sup> C	-	79,5
8.	Oli	350 <sup>0</sup> C	-	80
9.	Oli	400 <sup>0</sup> C	-	85
10.	Oli	450 <sup>0</sup> C	-	87

Sampel yang didinginkan pada media pendingin udara dengan diberi perlakuan panas sebelumnya pada temperatur 350<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup> C dan 450<sup>0</sup> C memperoleh hasil nilai uji

kekerasan *rockwell* skala b dengan nilai berturut-turut 76 HRb, 79,5 HRb dan 79 HRb. Nilai rata-rata pengujian kekerasan *rockwell* pada media pendingin udara 78,167 HRb. Dengan nilai maksimum yang diperoleh adalah 79,5 HRb dan nilai minimum adalah 76 HRb.



**Gambar 16** Grafik Hasil Kekerasan Metode Rockwell Pada Seluruh Media Pendingin

Sedangkan pada sampel yang dipanaskan pada pada temperatur 350°C, 400° C dan 450°C didinginkan media pendingin oli memperoleh hasil uji kekerasan rockwell skala b dengan nilai berturut-turut 85 HRb, 80 HRb dan 87,5 HRb dengan nilai rata-rata perolehan HRb pada media pendingin Oli adalah 84 HRb. Nilai maksimum yang diperoleh adalah 87,5 dan minimum adalah 80 HRb. Dengan demikian hasil nilai kekerasan berada dalam rentang nilai kekerasan dalam nilai asli pada paduan ingat bentuk. Harga kekerasan dengan perlakuan panas terjadi penurunan dari sampel tanpa perlakuan dikarenakan distribusi Zn dalam matriks Cu tersebar cukup merata dan dimensi butirannya yang membesar (Hendra dan Sahat, 2005).

## V.KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pengujian struktur kristal menggunakan alat Difraktometer Sinar-X Hasil pengujian struktur kristal menunjukkan bahwa terdapat tiga puncak tertinggi pada sampel asli atau sampel yang tidak diberi perlakuan panas memiliki sudut  $2\theta$  adalah  $31,2772^\circ$ ,  $42,2818^\circ$  dan  $43,3439^\circ$ , sampel yang dipanaskan pada  $350^\circ$  C dan didinginkan pada media pendingin oli memiliki sudut  $2\theta$  adalah  $42,4558^\circ$ ,  $43,4901^\circ$ ,  $79,6301^\circ$ , pada sampel yang dipanaskan pada  $450^\circ$  sudut  $2\theta$  adalah  $42,0659^\circ$ ,  $43,1199^\circ$ ,  $48,9592^\circ$  dengan bidang hkl ( 1 1 1), ( 2 1 1), ( 2 0 0) dengan membentuk fasa martensit  $\beta$  dan bidang hkl ( 1 1 0) berfasa  $\beta_1$  martensit.
2. Hasil pengamatan struktur mikro dan komposisi menunjukkan adanya fasa martensit yang ditandai oleh adanya pelat-pelat lamelar atau keteraturan garis-garis yang hampir vertikal yang berpori (berupa titik-titik hitam) garis-garis ini menunjukkan *twinned*

- martensite*. Dan fasa austenit ditandai dengan daerah yang lebih terang di sekitar fasa martensit. Dan Hasil Uji Komposisi kimia pada sampel masih berada pada batas maksimal berdasarkan standar DIN paduan ingat bentuk berbasis tembaga.
3. Hasil pengukuran kekerasan sampel yang dipanaskan pada suhu 350°C, 400°C dan 450°C dan didinginkan pada media pendingin air, oli dan udara adalah 72 HRb sampai 87,5 HRb. Nilai kekerasan yang diperoleh ini masih berada pada batas nilai kekerasan paduan ingat bentuk yaitu 90 HRb.
  4. Dari Pengujian struktur kristal, struktur mikro dan kekerasan sampel CuZnFe termasuk dalam karakteristik paduan ingat bentuk berbasis tembaga.

## 5.2 Saran

Untuk mengatasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil yang tidak sesuai/tidak diinginkan maka disarankan agar :

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan melakukan proses *heat treatment* dengan variasi temperatur yang lebih besar dari 500°C dan variasi waktu penahanan lebih dari 30 menit.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pengkarakteristikan Paduan Ingat Bentuk (PIB) CuZnFe dengan menguji sifat termal seperti DSC (*Termogravimetri Analisis*), DTA (*Differential Thermal Analysis*), dan TGA (*Termogravimetri Analisis*).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Adjiantoro, Bintang dan Budiarto. 2000. *Pengaruh Penambahan Unsur Zr dan Ti pada Paduan CuZnAl Terhadap Struktur Kristal, Kekerasan dan Struktur Mikro*. Prosiding Seminar Nasional Hamburan Neutron dan Sinar X Ke 3. ISSN-1410-7686. Serpong
- [2]. Hendra, dan Sahat. 2005. *Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Logam Bukan Besi (Kuningan)*. Jurnal Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang, Vol 2 No 2 Desember 2005. ISSN 1829-8958
- [3]. Nurhati, Bernadette H. 2010. *Pengaruh Logam Cu Terhadap Struktur Mikro dan Kapasitas Panas Material Solder Sn-Cu*. Tesis S2 Program Studi Ilmu Material Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Salemba
- [4]. Panjaitan, Elman dan Sulistioso G.S. 2000. *Penentuan Presipitat Ti<sub>3</sub>Ni<sub>4</sub> pada Paduan Ingat Bentuk TINI Menggunakan Mikroskop Elektron Transmisi*. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, P3TM-BATAN, ISSN 0216-3128. Yogyakarta
- [5]. Siregar, S.K. Kurniawan. 2007. *Perubahan Fasa Baja Mangan (FeMn) Hadfield 3401 pada Proses Pemanasan dan Perlakuan Pendinginan Cepat (Water Quencing) dan Lambat (Air Cooling)*. Tesis, Universitas Sumatera Utara)
- [6]. Sukaryo, Sulistioso. G dan Didin S. Windatapura. 2004. *Sintesis Paduan Intermetalik NiAl Dengan Metode Metalurgi Serbuk*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan (ISSN 1411-2213. Tangerang : Puslibang IPTEK Bahan (P3IB)-BATAN
- [7]. Sunendar, Bambang, Suyatman dan C. Sungkono. 2006. *Persiapan, Pembuatan dan Karakterisasi Paduan Ingat Bentuk Cu-Al-Ni*. Jurnal Sains Materi Indonesia (ISSN 1411-1098). Departemen Teknik Fisika Fakultas, Institut Teknologi Bandung, Vol.7 No 3

- [8]. Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*. (edisi kedua). Jakarta, Pradnya Paramita
- [9]. Wibisono, Mirza. 2009. *Studi Pengaruh Temperatur dan Waktu Pemanasan Proses Anil Cepat Terhadap Besar Butir, Mampu Bentuk Pelat, Difraksi Sinar- X dan Kekerasan Pelat Kuningan 70/30*. Thesis, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- [10]. Widodo, R. 2014. *Paduan CuZn(Kuningan)*. Program Studi Teknik Pengecoran Logam, POLMAN Bandung

