Pengaruh Proses Laku Panas Terhadap Karakteristik *Shape Memory Alloys* Cu-Zn-Al

Agung Sugiyanto, Drs. Akhmad Saufan M.T, Ir. Bintang adjiantoro. M.T.
Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik , Jurusan Teknik Mesin
LIPI - Pusat Penelitian Metalurgi, kawasan PUSPITEK Serpong-Tangerang

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh perbedaan media *quenching* terhadap karakteristik *shape memory alloys* dan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada masing-masing spesimen setelah proses perlakuan panas dengan menggunakan media *quench* air 27^0C, air garam 10% 27^0C, dan air es 10^0C.

Pada penelitian ini bahan yang digunakan yaitu tembaga, seng, dan aluminium murni dengan komposisi kimia target sebesar Cu25,35Zn4,1Al. Proses yang dilakukan dalam pembuatan *shape memory alloys* (SMA) yaitu proses peleburan dan pemaduan, homogenisasi pada temperatur 850^0C, pengerolan panas pada temperatur 650^0C dengan reduksi 25%-30%, pengerolan dingin pada temperatur 650^0C dengan reduksi 5%-7%, proses perlakuan panas dengan pemanasan pada temperatur 850^0C, diikuti dengan pendinginan cepat pada media air 27^0C, air garam 10% 27^0C, dan air es 10^0C. Pada analisis akan diuji yaitu komposisi kimia, metalografi, uji kekerasan, dan temperatur transformasinya.

Komposisi kimia paduan adalah 70,9821Cu-24,97Zn-3,93Al. Pada struktur mikro spesimen hasil pengecoran, fasa yang terbentuk fasa α sel satuan FCC dengan persentase jumlah 43,57% dan fasa β sel satuan BCC dengan persentase jumlah 56,43%. Dengan mempercepat laju pendinginan yaitu menggunakan media air garam 10% 27^0C dan media air es 10^0C terhadap media air 27^0C. Pada struktur mikro hasil perlakuan panas, fasa yang terbentuk yaitu fasa martensit dengan sel satuan HCP dan fasa austenit dengan sel satuan BCC dengan persentase jumlah fasa pada spesimen hasil *quenching* media air garam 10% 27^0C fasa martensit 46,15% dan fasa austenit 58,85%, harga kekerasan 136VHN, temperatur A_s 18^0C dan temperatur A_f 31^0C. Pada spesimen hasil *quenching* media air es 10^0C fasa martensit 18,75% dan fasa austenit 81,25%, harga kekerasan 130VHN, dan temperatur A_s 12^0C dan temperatur A_f 28^0C.

Pada spesimen hasil *quenching* media air 27^0C fasa martensit 26,67% dan fasa austenit 73,33%, harga kekerasan 133 VHN, temperatur A_s 14^0C dan temperatur A_f 29^0C. Pada SMA 70,9821Cu-24,97Zn-3,93Al, penurunan temperatur A_s dan temperatur A_f pada spesimen hasil *quenching* dengan media air es 10^0C diakibatkan oleh volume dari media *quenching* air es 10^0C setengah dari media *quenching* air 27^0C, sehingga temperatur dari media *quenching* air es 10^0C telah berubah ketika spesimen dilakukan proses *quenching*.

I. Pendahuluan

Paduan Ingat Bentuk (*Shape Memory Alloys*) adalah paduan logam yang mempunyai sifat pemulihan ke bentuk semula ketika dipanaskan pada temperatur tertentu. Kemampuan logam kembali ke bentuk semula dapat terjadi dalam satu arah (*one way memory effect*) atau dua arah (*two way memory effect*) yang disebut dengan efek ingat bentuk (*Shape Memory Effect)*.

Shape memory effect (SME) telah dicatat sejak tahun 1938, dimana Alden B. Greninger dari Universitas Havard dan V.G. Mooradian dari Institut Teknologi Massachusettes menunjukkan bahwa adanya fasa martensit pada kuningan (paduan logam dari tembaga dan seng), yang dapat dibentuk dan dihilangkan dengan adanya perubahan temperatur. Pada waktu yang sama G.V. Kurd Yumov, seorang pakar metalurgi dari Rusia, mempelajari hubungan fasa dari kuningan antara temperatur yang tinggi pada fasa β dan fasa martensit yang dibentuk dengan pendinginan yang cepat. Kemudian Thomas A. Read dan rekannya di Universitas Illinois menyelidiki SME yang terdapat pada paduan logam Emas-Cadmium dan mempertunjukkan kekuatan gayanya yang bisa dikembangkan oleh transformasi fasa. Pada tahun 1962, fenomena adanya ingat bentuk (*shape memory*) ditunjukkan pada paduan logam Titanium dan Nikel. Dalam tahun 70`an, suatu kelompok SMA telah dikembangkan dengan paduan logam dasar tembaga, Seng, dan Alumunium (Schetky, 1979). Dalam tahun berikut efek ingat bentuk (*Shape Memory Effect*) telah diamati dalam sistem paduan biner dan paduan terner, meliputi Ag-Cd, Au-Cd Cu-Al-Ni, Cu-Au-Zn, Cu-Sn, Cu-Zn, Cu-Zn-Al, Cu-Zn-Ga, Cu-Zn-Si, Cu-Zn-Sn, In-Ti, Ni-Al, Fe-Pt, Fe-Pd, Mn-Cu, dan Ni-Ti. Hanya paduan Ni-Ti, Cu-Zn-Al dan Cu-Al-Ni yang sudah dikembangkan secara luas di dalam aplikasi karena memiliki sifat mekanis yang lebih baik. Paduan Cu-Zn-Al belum sesukses paduan Ni-Ti karena paduan ini belum

mengalami percobaan yang cukup. Ini mungkin disebabkan karena pada studi awal menunjukkan paduan Cu-Zn-Al mempunyai sifat kelelahan bahan yang lemah.

Paduan Ni-Ti, Cu-Zn-Al dan Cu-Al-Ni yang sudah dikembangkan secara luas di dalam aplikasi karena memiliki sifat mekanis yang lebih baik. Paduan Cu-Zn-Al belum sesukses paduan Ni-Ti karena paduan ini belum mengalami percobaan yang cukup. Ini mungkin disebabkan karena pada studi awal menunjukkan paduan Cu-Zn-Al mempunyai sifat kelelahan bahan yang lemah

Paduan Cu-Zn-Al adalah salah satu SMA yang menarik untuk aplikasi rancang bangun dibandingkan dengan paduan SMA lainnya. Paduan Cu-Zn-Al murah dalam hal biaya dan mudah dalam proses pemesinan dibandingkan paduan SMA yang lain. Secara umum bahwa paduan Ni-Ti mempunyai sifat kekuatan dan sifat kelelahan bahan yang lebih baik dibanding Cu-Zn-Al, bagaimanapun Ni-Ti memiliki biaya enam kali lebih mahal dibandingkan paduan Cu-Zn-Al. Paduan Cu-Zn-Al mudah dalam proses pemesinan sedangkan Ni-Ti sangat keras dan abrasif di dalam pengoperasian dengan mesin, sehingga paduan Cu-Zn-Al tidak begitu memerlukan peralatan pemesinan yang lebih baik.

II. Metode penelitian

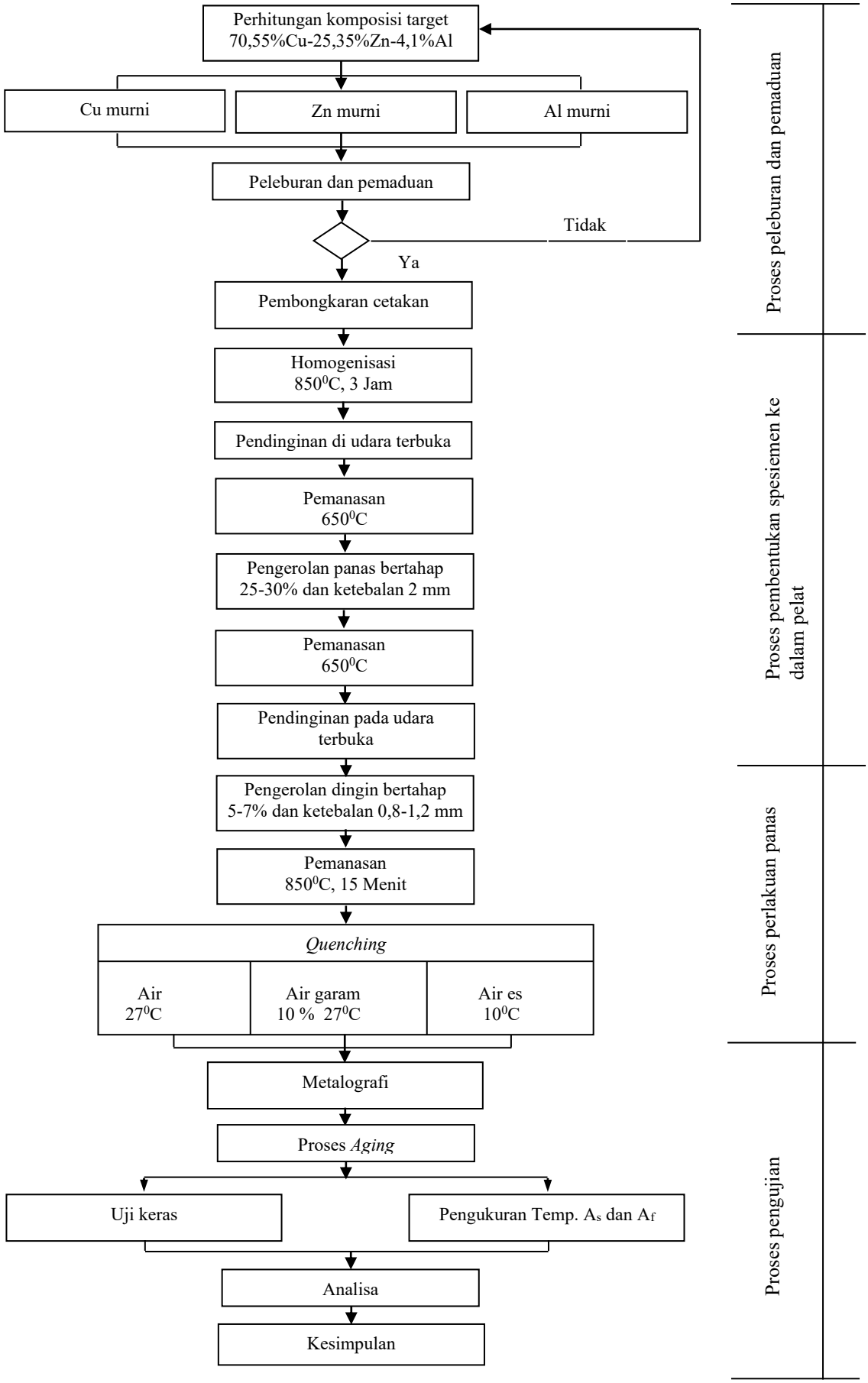
Pada penelitian ini material yang digunakan yaitu batang (ingot) tembaga murni , alumuminium murni, dan seng murni.Bahan dipotong-potong sesuai dengan berat yang dibutuhkan untuk spesimen percobaan, yaitu sekitar 250 gram/spesimen.

Paduan Cu-Zn-Al yang dibuat dalam penelitian ini adalah berbentuk batang (*rod*) dengan ukuran panjang (L) = 200 mm, diameter = 10 mm. *Billet* tersebut dihasilkan dari proses pengecoran logam yang mempunyai komposisi terget 70,55%Cu-25,35%Zn-4,1%Al.

$$Cu = \frac{70,5}{100} x250gr = 176,25gr$$

$$Al = \frac{4,1}{100} x250gr = 10,25gr$$

$$Zn = \frac{25,4}{100} x250gr = 63,5gr$$



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

Penelitian diawali dengan proses perhitungan komposisi target, proses peleburan dan pemaduan pada proses peleburan dilakukan pada temperatur titik lebur Cu yaitu 1083^0C , proses pembongkaran cetakan pada proses ini dilakukan juga *scraping* yaitu untuk menghilangkan cacat coran yang terjadi pada coran paduan tembaga berupa inklusi terak yang membentuk lapisan oksida tipis pada permukaan hasil coran dengan menggunakan gerinda tangan dan kikir.

Proses homogenisasi pada paduan Cu-Zn-Al dilakukan dengan cara memanaskan spesimen hasil peleburan dan pemaduan pada temperatur 850^0C dan kemudian ditahan selama 180 menit. Hal ini bertujuan menghilangkan segregasi, yaitu ketidak homogenisasinya komposisi kimia dan memperbaiki struktur pilar yang bersifat rapuh. Proses ini dilakukan di dalam tungku pemanas, proses pengerolan yaitu pengerolan panas untuk membentuk spesimen dengan ketebalan 2 mm, digunakan mesin rol dan dilakukan pada temperatur di atas suhu rekristalisasi dari paduan Cu-Zn-Al, yaitu sekitar 650^0C. Pemilihan daerah operasi pengerjaan didasarkan atas karakteristik bahan dari paduan Cu-Zn-Al yang mempunyai sifat mampu bentuk (*formability*) yang kurang baik pada suhu kamar dengan besarnya reduksi sebesar 25% - 30% dan pengerolan dingin yaitu untuk mendapatkan spesimen dengan tebal 0,8 – 1,2 mm batang hasil pengerolan di atas kemudian direduksi melalui proses rol dingin (*cold rolling*) secara bertahap. Pada proses pengerolan dingin, setiap tahap pengerolan diselingi dengan proses pelunakan (*intermediate annaeling*) pada temperatur 650^0C selama 15 menit, kemudian didinginkan di udara. Hal ini dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan sisa akibat pengerjaan dingin. Reduksi penampang yang diberikan sekitar 5-7%.

Proses laku panas (*heat treatment*) didefiniksan, suatu proses yang meliputi: pemanasan, waktu penahanan pada temperatur tertentu, dan proses pendinginan. Tujuan laku panas ini adalah untuk memperoleh kondisi atau sifat-sifat tertentu yang diinginkan dalam hal ini adalah sifat ingat bentuk, melalui perubahan struktur atau fasanya tanpa terjadi perubahan komposisi kimia.Proses perlakuan panas pada spesimen paduan Cu-Zn-Al yang dilakukan yaitu pemanasan pada temperatur 850^0C kemudian ditahan selama 15-20 menit di dalam tungku yang menggunakan dapur pemanas. Pendinginan dilakukan secara cepat dengan mencelupkan ke dalam media pendingin air 27^0C, air garam 10% 27^0C, dan air es 10^0C.Proses penuaan (*aging*)

dilakukan untuk meningkatkan kestabilan sifat *shape memory effect* terhadap deformasi dan termal yang berulang-ulang selama pengujian. Proses penuaan dilakukan dengan memanaskan kembali spesimen yang telah di-laku panas pada temperatur *aging* pada masing-masing spesimen dengan waktu yang telah ditentukanProses *aging* dilakukan setelah diketahui struktur mikro dari masing-masing spesimen untuk menentukan temperatur *aging*. Pada spesimen hasil laku panas yang memiliki fasa martensit temperatur *aging* adalah 100^0C selama 30 menit dan untuk spesimen hasil laku panas yang memiliki fasa fasa austenit temperatur *aging* dilakukan pada temperatur kamar selama 30 menit.

Pada proses pengujian yang dilakukan yaitu pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang dimiliki oleh masing-masing spesimen dari paduan yang telah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji keras dengan metode Vickers. Metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati struktur mikro yang terbentuk dari tiap paduan hasil peleburan. Pengukuruan karakteristik termomekanis pada paduan Cu-Zn-Al yang telah memiliki sifat ingat bentuk dilakukan untuk menentukan temperatur transformasinya.

III. Hasil penelitian

Tabel 1. Komposisi kimia paduan Cu-Zn-Al

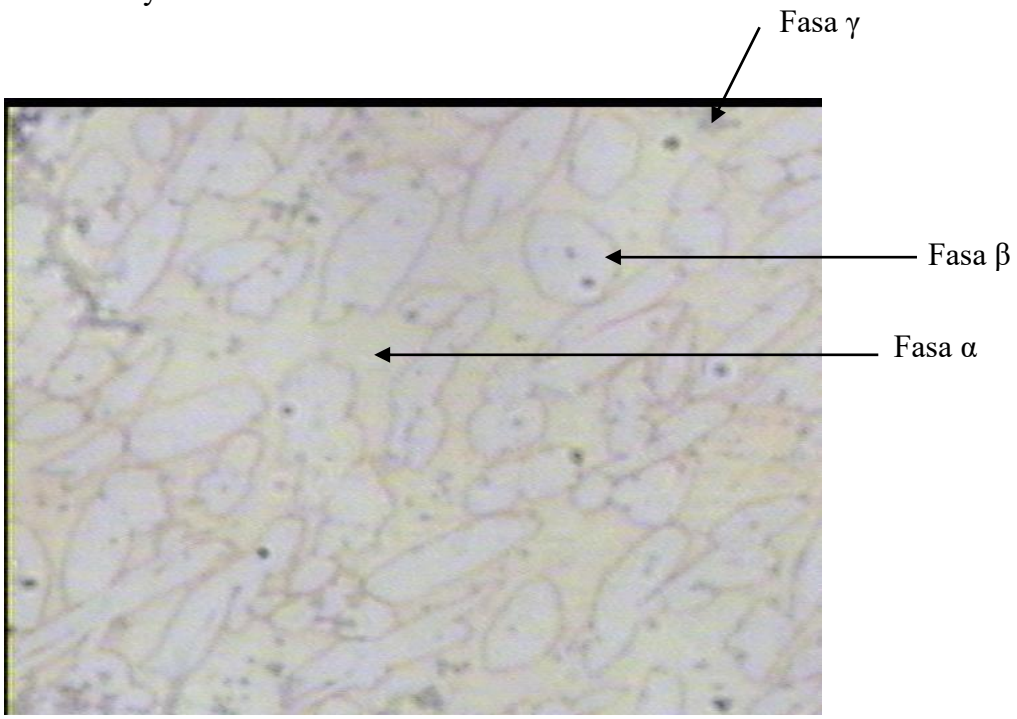
Komposisi kimia rancangan paduan		**Komposisi kimia hasil paduan**	
Unsur	% Berat	Unsur	% Berat
Cu	70,55	Cu	70,9821
Zn	25,35	Zn	24,97
Al	4,1	Al	3,93
		Fe	0,045
		Si	0,037
		Mn	0,02
		Pb	0,01
		Ni	0,0039
		Sn	0,002

Berdasarkan Tabel 1 terlihat terjadi sedikit penyimpangan komposisi kimia dari Cu, Zn dan Al. Besarnya perubahan komposisi adalah:

a. Cu : Perubahan = 0,4321 % Naik
b. Zn : Perubahan = 0,38 % Turun
c. Al : Perubahan = 0,17 % Turun
d. Unsur – unsur pengotor berupa Fe, Si, Mn, Pb, Ni dan Sn. % Berat unsur pengotor = 0,1179 %

Perubahan komposisi kimia dari Cu, Zn, Al dan munculnya unsur – unsur pengotor, bisa dikarenakan penggunaan peralatan yang tidak bersih sewaktu peleburan dan pemaduan sehingga unsur-unsur pengotor bisa masuk ke dalam paduan, pengaruh oksidasi karena oksigen tidak sepenuhnya bisa dihilangkan walaupun telah menggunakan arang sebagai pelindung.

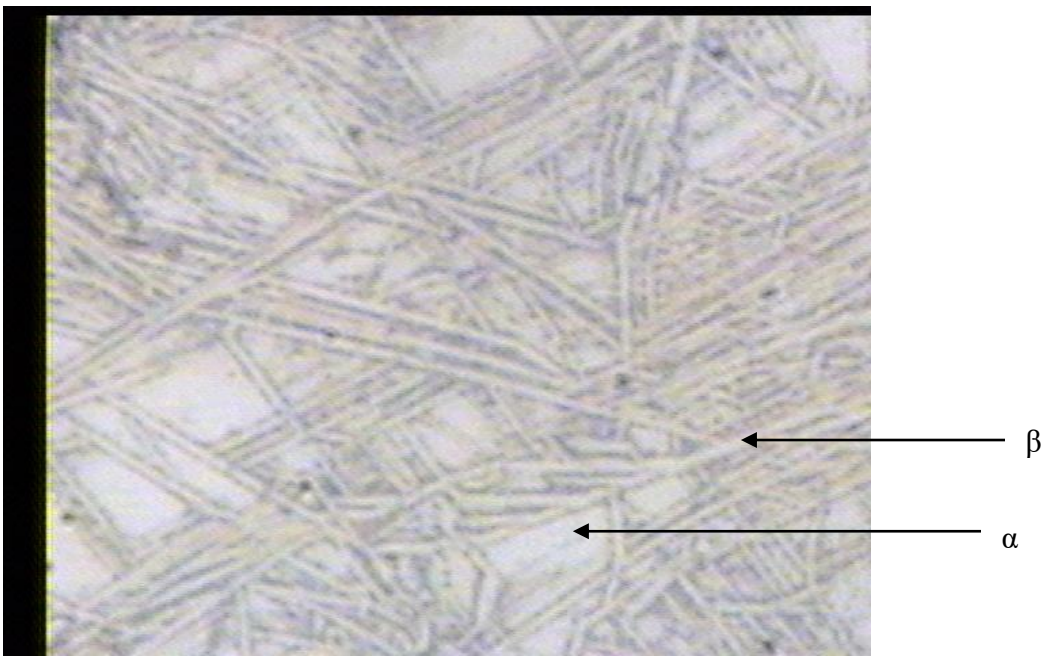
Pada struktur mikro hasil proses perlakuan panas penuaan (*aging*) untuk spesimen hasil quench pada media air 27^0C, air garam 10% 27^0C, dan air dingin 10^0C dilakukan pada temperatur kamar, karena struktur mikro yang dimiliki pada temperatur kamar yaitu fasa austenit.



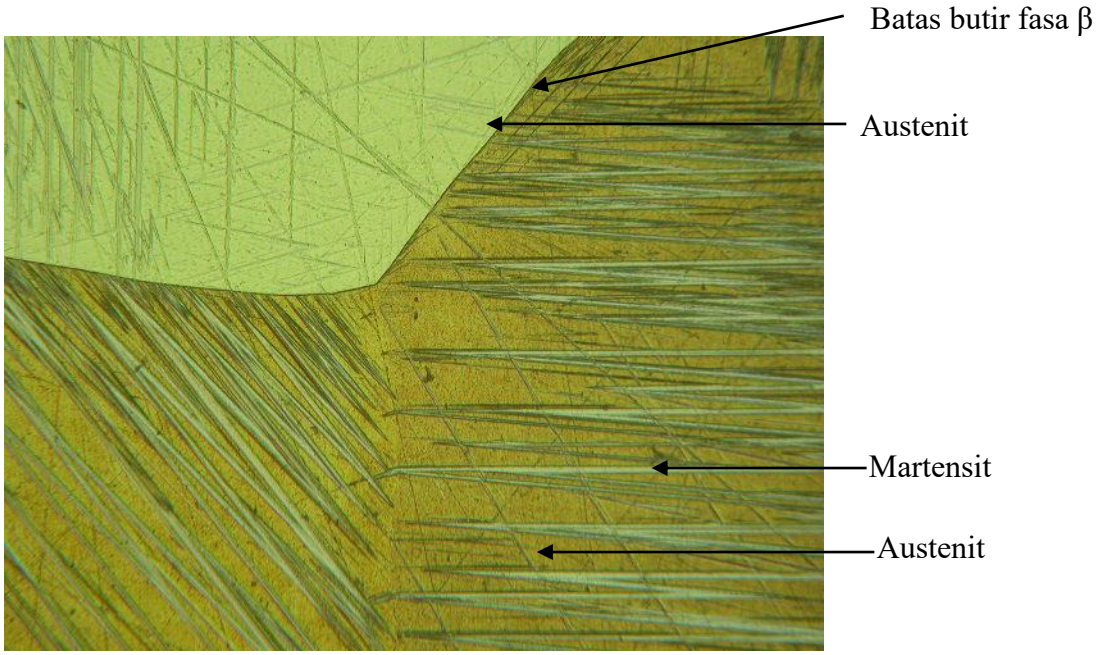
Gambar 2. Struktur mikro dari paduan 70.9821Cu-24.97Zn-3.93Al, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4, 5 %. Perbesaran 100x.

Pada Gambar 2, fasa yang terbentuk yaitu fasa α, fasa β, dan fasa γ. Pada Gambar 2 terlihat bahwa terdapat bintik hitam yang diakibatkan sewaktu pengetsaan.

Struktur mikro dari fasa β ada yang berbentuk bulat dan memanjang, dan juga pada Gambar 2 hal. 7 terdapat permukaan yang kotor ini diakibatkan sampel dari metalografi telah teroksidasi. Fasa α merupakan matriks dari paduan, fasa β berbentuk *columnar*, dan persentase jumlah fasa β = 56,43% dan fasa α =43,57%



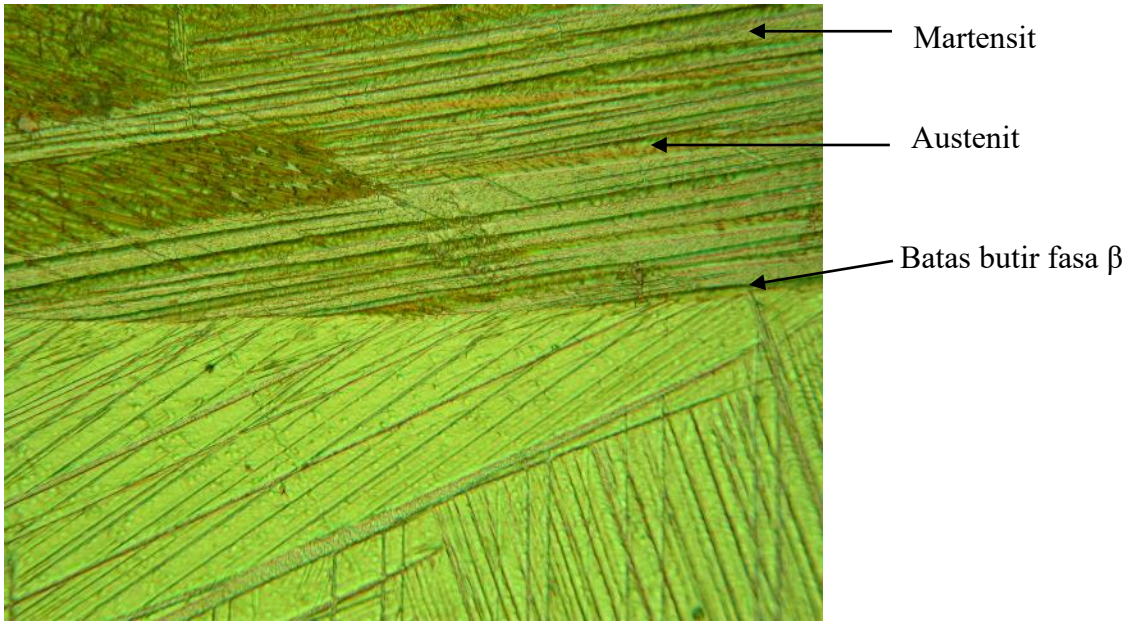
Gambar 3. Struktur mikro dari paduan 70.9821Cu-24.97Zn-3.93Al, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4, 5 %. Perbesaran 100x.



Gambar 4. Struktur mikro dari paduan 70.9821Cu-24.97Zn-3.93Al, hasil *quench* ke dalam air 27^0C, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4, 5 %. Perbesaran 200x, Temperatur 25^0C.

Pada Gambar 3, fasa yang terbentuk yaitu fasa α dan fasa β. Pada Gambar 3 terlihat bahwa terdapat bintik hitam yang diakibatkan sewaktu pengetsaan. Bentuk butir dari fasa β berbentuk memanjang. Struktur mikro hasil pengecoran dengan bentuk butir fasa β berbentuk bulat sekarang menjadi berbentuk memanjang. Fasa α masih terdapat diantara butir fasa β. Fasa α dikelilingi oleh fasa β.

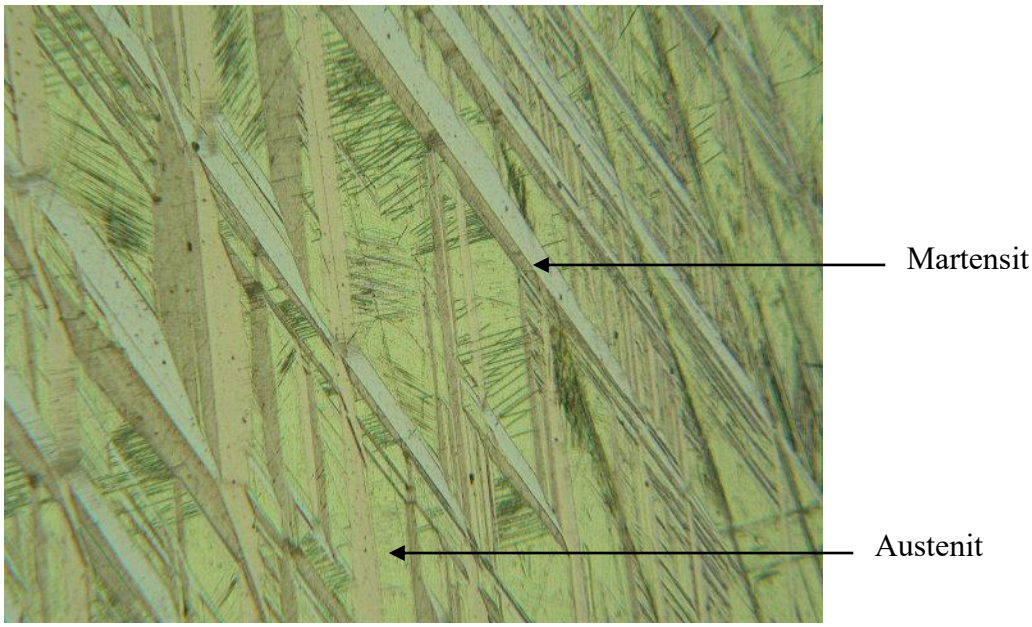
Pada Gambar 4, fasa yang dihasilkan adalah fasa martensit dan fasa austenit, fasa martensit ini tumbuh di bekas butir fasa β. Pada setiap butir fasa β, fasa martensit yang tumbuh memiliki arah yang berbeda-beda. Fasa martensit berbentuk jarum, pada satu butir bekas fasa β fasa martensit yang tumbuh mempunyai arah ada yang mendatar dan miring ± 45^0. Persentase jumlah dari fasa austenit adalah 73,33% dan fasa martensit adalah 26,67%



Gambar 5. Struktur mikro dari paduan 70.9821Cu-24.97Zn-3.93Al, hasil quench ke dalam air garam 10% 27^0C, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4, 5 %. Perbesaran 200x, Temperatur 25^0C.

Pada Gambar 5 struktur mikro spesimen dengan media *quench* air garam 10% 27^0C fasa yang dihasilkan adalah fasa martensit dan fasa austenit. Fasa martensit pada Gambar 5 tumbuh pada bekas butir fasa β. Fasa martensit yang tumbuh di antara fasa austenit ini terdapat pada satu butir bekas fasa β. Dalam satu butir bekas fasa β, fasa martensit yang berbentuk seperti jarum dengan arah yang miring ke kanan dan ke kiri

dengan sudut kemiringan $\pm 30^0$ dan $\pm 120^0$. Persentase jumlah dari fasa austenit adalah 53,85% dan fasa martensit adalah 16,74% .



Gambar 6. Struktur mikro dari paduan 70.9821Cu-24.97Zn-3.93Al, hasil *quench* ke dalam air es 10^0C, $K_2Cr_2O_7$, NaCl, H_2SO_4, 10 %. Perbesaran 200x, Temperatur 25^0C.

Dari Gambar 6 struktur mikro pada spesimen dengan media *quench* air es 10^0C di atas, fasa yang tumbuh yaitu fasa martensit dan fasa austenit. Fasa martensit yang tumbuh pada satu butir bekas fasa β memiliki arah yang miring $\pm 45^0$ dan juga ada yang tegak. Persentase jumlah dari fasa austenit adalah 81,25% dan fasa martensit adalah 18,75% .

Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sesudah proses perlakuan panas. Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan metode *Hardness Vickers* (HV) temperatur 30^0C pada fasa β . Data hasil pengujian kekerasan dari spesimen paduan Cu-Zn-Al ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data hasil pengujian kekerasan

No. Spesimen	**Media *quenching***	**Rata-rata harga kekerasan (VHN)**
1.	Air 27^0C	133
2.	Air garam 10% 27^0C	136
3.	Air es 10^0C	130

Hasil pengukuran karakteristik termomekanis seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 dari spesimen yang telah dilakukan proses *aging* didapatkan temperatur *Austenite start* (A_s) dan *Austenite Finish* (A_f). Dalam grafik hasil dari pengukuran akan ditunjukkan dalam bentuk kurva yang menghubungkan kondisi perlakuan logam dengan temperatur transformasi.

Tabel 3. Data pengukuran karakteristik termomekanis.

No. Spesimen	**Media *quenching***	**Temperatur (^{0}C)**	
		As	**Af**
1.	Air 27^{0}C	14	29
2.	Air garam 10% 27^{0}C	18	31
3.	Air es 10^{0}C	12	28

Sensitifitas panas paduan ingat bentuk adalah tingkat kesensitifan paduan jika diberikan panas. Semakin kecil jarak antar temperatur transisi, maka semakin sensitif paduan ingat bentuk tersebut jika diberikan pemanasan. Tingkat kesensitifan ini juga dapat dilihat dengan kecepatan paduan ingat bentuk dalam berubah bentuk pada saat di berikan pemanasan.

Sudut defleksi pada paduan ingat bentuk menandakan keelastisan sebuah paduan logam. Semakin besar nilai sudut defleksi maka semakin elastis paduan logam tersebut.

Tabel 4. Sensitifitas panas dan sudut defleksi

No. Spesimen	**Media *quenching***	**Sensitifitas panas**	**Sudut defleksi**	**Selisih sudut**
1.	Air 27^{0}C	15^{0}C	63^0	3^0
2.	Air garam 10% 27^{0}C	12^{0}C	73^0	3^0
3.	Air es 10^{0}C	16^{0}C	48^0	2^0

DAFTAR PUSTAKA

J.R. Davis. *Aluminum and Aluminum Alloys*, (USA: ASM Speciality Handbook, 1996)

Miyazaki, Shuici dan Otsuka, Kazuhiro, *Development of Shape Memory Alloys*, *ISIJ International*, Vol.29 (No.5), Institute of Material Science, University of Tsukuba, Japan,1989.

R.W.Chan, P. Haasen, E.J.Kramer, *Structure and Properties of Nonferrous Alloys Volume* 8 (USA: Material Science And Technologi, 1992).

Sumanto, *Pengetahuan Bahan untuk Mesin dan Listrik.* (Yogyakarta: Andi Offset, 1996).

Subramaniam, Ameendraraj. (1998). *Fatigue Behavtor Of Copper Zinc Aluminum Shape Memory Alloys.* Thesis Master of Science Departement of Civil Engineering University of Manitoba, Canada. Diakses 15 mei 2007 dari National Library Of Canada. Http://www.National library.canada.edu/resouces/MQ32256.

Surdia,Tata dan Saito,Shinroku,*Pengetahuan Bahan Teknik* (Jakarta:PT. Pradnya Paramita,1999).

T.W.Duerig, K.N. Melton, D. Stockel, C.M. Wayman, *Enginering Aspects of Shape Memory Alloys* (London: Butterwort-Heinemann.1990).

www.us.ualberta.ca/~database/MEMS/sma-mems/shape memory effect.html (26 Desember 2007)

www.herkules.oulu.fi/isbn9514252217/html/x317.html (29 Desember 2007)