

Pengaruh *Holding Time* Proses *Solution Treatment* dan Variasi Media Pendingin pada Cu-Zn-Al *Shape Memory Alloys* terhadap Efek *Shape Memory* dan Struktur Mikro

Mavindra Ramadhani, Rochman Rochiem, Luckyta Rizkivany
Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: mavindra@its.ac.id

Abstrak— *Studi tentang smart materials cukup menyita perhatian dalam beberapa tahun terakhir, salah satunya yaitu tentang Shape Memory Alloys (SMA). Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengembangkan SMA menggunakan paduan Ni-Ti, namun karena paduan tersebut memiliki beberapa kekurangan, maka muncullah untuk membuat alternatif paduan lain yaitu paduan Cu-Zn-Al. Untuk mendapatkan SMA dapat dilakukan dengan cara pengecoran. Pada penelitian ini paduan Cu-21Zn-5Al diberikan proses perlakuan panas homogenizing, annealing, dan solution treatment dengan holding time 10, 30, dan 60 menit dengan masing-masing holding time dilakukan quenching dengan media pendingin brine solution dan dry ice untuk mengetahui pengaruhnya terhadap efek shape memory dan struktur mikro. Selanjutnya dilakukan pengujian, XRD, metalografi, efek shape memory dan hardness test. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa efek shape memory dimiliki oleh semua spesimen, dimana recovery yang paling tinggi dimiliki oleh spesimen pada holding time 10 menit dengan media pendingin brine solution sebesar 36,67%. Selain itu pada semua spesimen terbentuk fasa α , β , γ , serta martensit akibat pendinginan cepat.*

Kata Kunci— *Cu-Zn-Al, Efek Shape Memory, Perlakuan Panas, Shape memory alloys, Hardness.*

I. PENDAHULUAN

Studi tentang *smart materials* ini cukup menyita perhatian dalam beberapa tahun terakhir. Penerapan *smart materials* dapat dilihat seperti salah satu contohnya, yaitu sensor dan aktuator. Salah satu contoh material yang memiliki kemampuan untuk digunakan sebagai sensor atau aktuator bahkan keduanya adalah *Shape memory alloys*. *Shape memory alloys* atau yang biasa disingkat dengan (SMA's) memiliki sifat yang unik dan menarik perhatian yaitu *Shape Memory Effect* dan *superelasticity*. Saat ini penelitian sudah banyak dilakukan untuk mengembangkan *shape memory alloys*. Salah satu material paduan yang banyak digunakan secara komersial yaitu paduan Ni-Ti. Paduan Ni-Ti adalah paduan yang memiliki kombinasi sifat material terbaik dalam pengaplikasiannya. Namun memiliki beberapa kekurangan seperti temperatur transformasinya yang kecil, pemrosesan yang sulit dan juga harganya yang sangat mahal seratus kali lipat dibandingkan dengan *Shape memory alloys Cu-based* [1]. Oleh karena itu, muncul untuk membuat alternatif lain seperti paduan Cu-Zn-Al

yang memiliki beberapa sifat seperti ulet, dapat di *cold-working*, dan jarak transformasi temperaturnya lebih tinggi dibandingkan dengan Ni-Ti. Paduan Cu-Zn-Al memiliki *shape memory effect* pada komposisi tertentu yaitu 60%-80% Cu ; 15%-30% Zn ; dan 3%-10% Al dalam berbagai perbandingan.

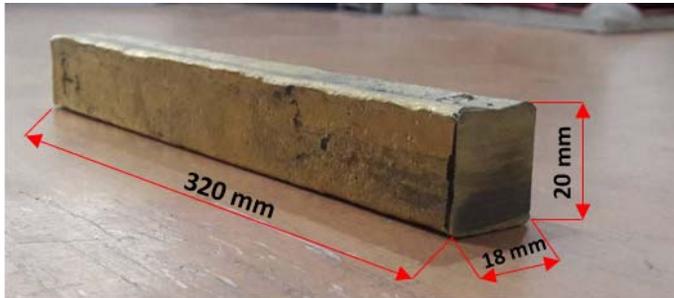
Shape Memory Alloys (SMA) adalah material yang memiliki kemampuan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah dideformasi dan diberikan perlakuan temperatur tertentu [2]. Aplikasi dari *Shape memory alloys* sendiri cukup beragam dalam berbagai bidang industri, misalnya saja seperti aeronautika, automotif, biomedik maupun sistem mekanik. Proses pembuatan *shape memory alloys* dapat dilakukan melalui dua cara yaitu proses pembentukan dan proses pelatihan. *Shape memory alloys* memiliki struktur kristal austenit dan martensit. Proses pembebanan dilakukan pada saat fasanya *twinned* martensit, kemudian karena adanya pembebanan maka akan terjadi perubahan dimensi tetapi fasanya masih martensit yaitu *detwinned* martensit. Ketika pembebanan dilepaskan, fasanya masih tetap *detwinned* martensit. Proses *Shape Memory Effect* terjadi ketika *detwinned* martensit dipanaskan hingga temperatur austenit, maka fasanya akan berubah ke bentuk semula [3].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Lai (1996), perlakuan panas dapat mempengaruhi sifat dari *shape memory alloys Cu-based*. Dimana spesimen dengan komposisi Cu-17.5at%Zn5at%Al yang digunakan diberikan empat perlakuan panas berbeda dengan dilakukan *step-quenching*, *ice-water quenching*, *water quenching*, dan *glycol quenching* pada tiga temperatur berbeda yaitu 800, 850, dan 900°C. [4] Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa *shape memory effect* dipengaruhi oleh beberapa parameter perlakuan panas seperti temperatur *betatizing*, durasi *betatizing*, dan kecepatan pendinginan. Karena minimnya penelitian yang meneliti terkait Cu-Zn-Al *shape memory alloys* dan masih banyaknya peluang untuk mengembangkan penelitian dibidang terkait sehingga mendapatkan sifat material Cu-Zn-Al *shape memory alloys* yang optimal, maka dari itu penelitian ini akan membahas tentang pengaruh *holding time* proses *solution treatment* dan media pendingin pada Cu-Zn-Al *shape memory alloys* terhadap efek *shape memory* dan struktur mikro.

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah paduan Cu-Zn-Al berbentuk ingot hasil pengecoran dengan dimensi sesuai pada Gambar 1 dan juga komposisi sesuai dengan ASM Handbook Vol. 2 seperti yang tertera pada Tabel 1.



Gambar 1. Spesimen ingot Cu-Zn-Al hasil pengecoran

Tabel 1. Komposisi paduan *shape memory alloys*

Keterangan	Komposisi (%)		
	Cu	Zn	Al
ASM Handbook Vol. 2 Bab <i>Shape Memory Alloys</i> Komposisi Paduan	Balance	10-35	4-10
Komposisi Paduan	Balance	21	5

B. Prosedur Perlakuan Panas

1) Homogenizing

Menyiapkan spesimen. Menyiapkan *furnace* untuk perlakuan panas. Memasukkan spesimen ke dalam *furnace*, kemudian dipanaskan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 2 jam. Mengeluarkan spesimen dari *furnace* dan dibiarkan dingin di udara.

2) Annealing

Menyiapkan spesimen. Menyiapkan *furnace* untuk perlakuan panas. Memasukkan spesimen ke dalam *furnace*, kemudian dipanaskan hingga temperatur 550°C dan ditahan selama 4 jam. Mengeluarkan spesimen dari *furnace* dan dibiarkan dingin di udara.

3) Solution Treatment

Menyiapkan spesimen. Menyiapkan *furnace* untuk perlakuan panas. Memasukkan spesimen ke dalam *furnace*, kemudian dipanaskan hingga temperatur 850°C dan ditahan selama 10 menit. Mengeluarkan spesimen dari *furnace* dan memasukkannya ke dalam media pendingin *brine solution*. Mengulangi langkah sesuai urutan yang dijelaskan namun ditahan selama 30 menit dan 60 menit.

C. Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD ditujukan untuk mengetahui fasa yang terkandung dalam spesimen yang diuji. Pengujian XRD dilakukan pada spesimen yang belum diberi perlakuan panas dan juga yang sudah diberikan perlakuan panas untuk mengetahui perbandingan fasa yang terbentuk. Sampel material yang digunakan untuk pengujian XRD ini ukuran tebalnya tidak lebih dari 4 mm. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) dilakukan dengan menggunakan alat XRD PANalytical.

D. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen yang akan diuji. Prinsip pengujian ini adalah dengan mengamati permukaan spesimen yang sebelumnya sudah dipreparasi, *dipolish*, dan di etsa menggunakan etsa dengan komposisi 5 gr FeCl₃, 10 ml HCl, dan 95 ml etanol. Dengan ukuran sampel yang digunakan yaitu 25 mm x 20 mm x 10 mm. Kemudian diamati dengan menggunakan alat mikroskop optik *Metallurgical Microscope OLYMPUS BX51M-RF*.

E. Pengujian Efek Shape Memory

Pengujian *shape memory effect* dilakukan berdasarkan pada standar ASTM F2082-01. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui persentase *recovery* dari paduan *shape memory* yang telah dideformasi. Bentuk spesimen untuk pengujian ini dapat berupa *wire*, diameter 1 mm. Spesimen yang sudah diberi perlakuan panas pembentukan *shape memory* ditebuk, kemudian dipanaskan hingga terjadi *recovery shape*. Untuk mengetahui persentase *recovery* atau efek *shape memory* dapat dihitung dengan Persamaan (1) di bawah ini:

$$SME = \frac{\theta_o - \theta_t}{\theta_o} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana:

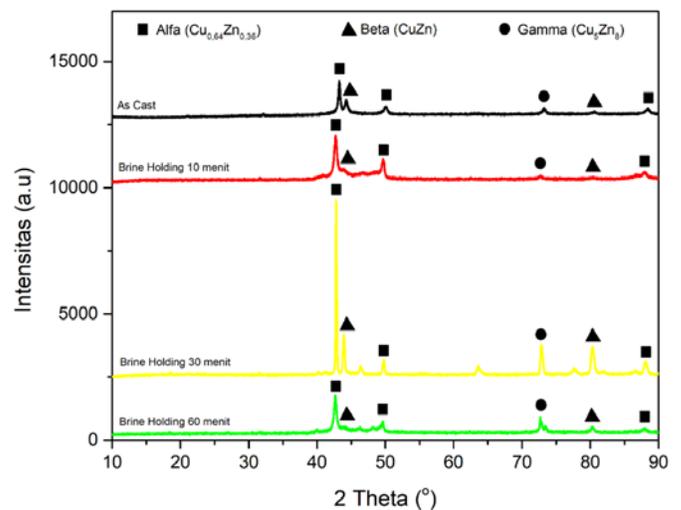
θ_o = Sudut awal

θ_t = Sudut akhir setelah pemanasan

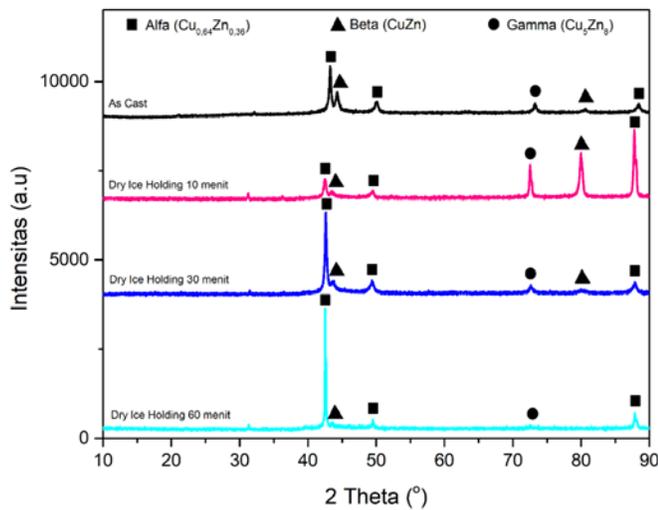
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian XRD

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan bahwa *peak* XRD yang di dapat seperti Gambar 2 dan Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 2. Hasil pengujian XRD Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan media pendingin *brine*



Gambar 3. Hasil pengujian XRD Cu-21Zn-5Al shape memory alloys dengan media pendingin dry ice

Dapat dilihat bahwa spesimen *as cast* terdapat *peak* yang menunjukkan fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$) yang terletak pada posisi 2θ 42,325° pada bidang (1,1,1), posisi 2θ 49,275° pada bidang (2,0,0), dan posisi 2θ 87,455° pada bidang (3,1,1), serta fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$) memiliki struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi 00-050-1333. Berdasarkan Gambar 2 di atas diketahui bahwa fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$) juga muncul pada spesimen lainnya dengan media pendingin *brine* begitupun juga pada Gambar 3 dengan media pendingin *dry ice*, dimana fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,64}\text{Zn}_{0,36}$) memiliki intensitas yang cukup tinggi pada semua spesimen dibandingkan dengan fasa yang muncul lainnya.

Kemudian terdapat fasa β -brass (CuZn) yang terletak pada posisi 2θ 43,473° pada bidang (1,1,0), posisi 2θ 79,631° pada bidang (2,2,1), serta fasa β -brass (CuZn) memiliki struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi 00-002-1231. Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 di atas diketahui bahwa fasa β -brass (CuZn) juga muncul pada spesimen lainnya baik media pendingin *brine* maupun media pendingin *dry ice*. Namun yang membedakan adalah intensitas pada setiap spesimennya.

Selain fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,7}\text{Zn}_{0,3}$) dan fasa β -brass (CuZn), fasa terakhir yang muncul adalah fasa γ -brass (Cu_5Zn_8) yang terletak pada posisi 2θ 72,455° pada bidang (6,3,1) dan fasa γ -brass (Cu_5Zn_8) memiliki struktur kristal kubik sesuai dengan kode referensi 01-074-5803. Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 di atas diketahui bahwa fasa γ -brass (Cu_5Zn_8) juga muncul pada spesimen lainnya baik pada media pendingin *brine* maupun media pendingin *dry ice*. Intensitas fasa γ -brass (Cu_5Zn_8) dibandingkan dengan fasa α -brass ($\text{Cu}_{0,7}\text{Zn}_{0,3}$) dan fasa β -brass (CuZn) memiliki intensitas yang relatif rendah pada semua spesimen.

Dari fasa yang muncul pada hasil pengujian XRD dapat diketahui bahwa hal tersebut sesuai dengan diagram fasa terner yang menyebutkan bahwa ketika Cu-21Zn-5Al dipadukan maka akan terbentuk fasa α , fasa β , dan juga fasa γ . Dimana ketika diberi perlakuan panas *solution treatment* maka fasa α akan terlarut menjadi fasa β . Fasa β yang teridentifikasi pada hasil XRD spesimen *as cast* disebabkan oleh kondisi

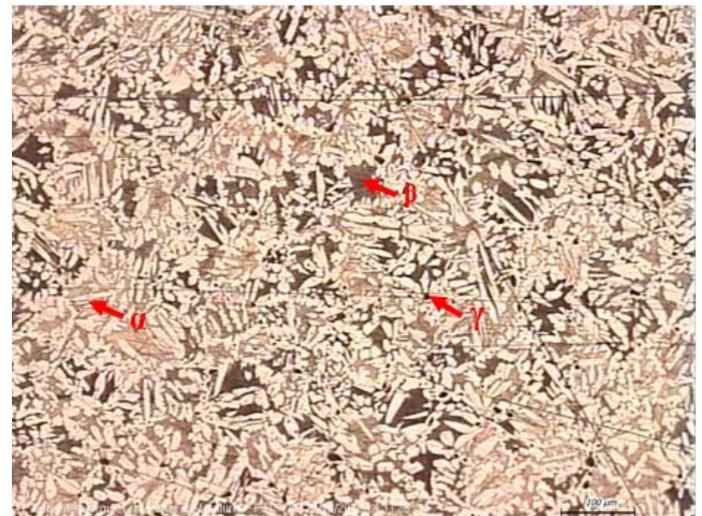
pendinginan yang tidak ekuilibrium pada proses pengecoran.

B. Hasil Pengujian Metalografi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil persentase fasa yang telah dihitung menggunakan aplikasi FIJI sesuai Tabel 2 di bawah ini:

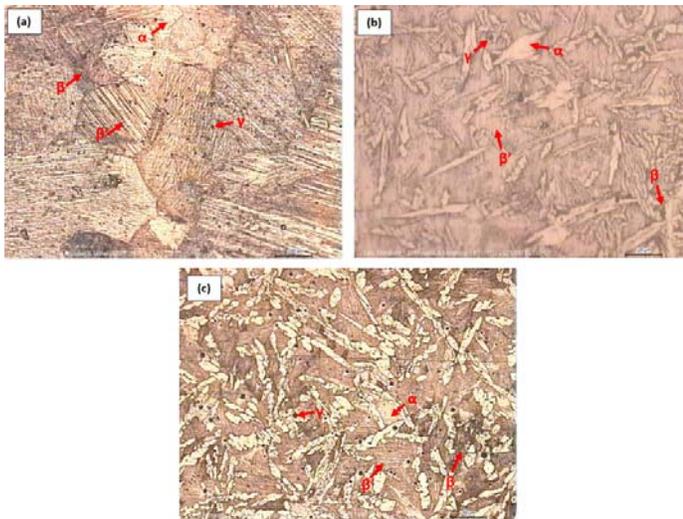
Tabel 2.
Hasil analisis perbandingan jumlah fasa Cu-21Zn-5Al shape memory alloys menggunakan aplikasi fiji

Spesimen	% Area			
	α	β	γ	β^*
As Cast	65,974	32,889	1,137	-
B10	31,226	26,546	1,330	40,898
B30	47,372	24,328	0,395	27,905
B60	32,646	28,608	4,399	34,347
DI10	63,838	14,374	2,454	19,334
DI30	57,378	27,227	1,904	13,491
DI60	45,13	24,937	2,089	27,844



Gambar 4. Hasil pengujian metalografi spesimen *as cast* Cu-21Zn-5Al shape memory alloys perbesaran 100x

Gambar 4 di atas menunjukkan hasil pengujian metalografi pada spesimen *as cast* Cu-21Zn-5Al shape memory alloys dengan perbesaran 100x. Sesuai dengan gambar yang tertera bahwa fasa yang muncul dari spesimen *as cast* adalah fasa α , β , dan γ . Hal ini sesuai dengan diagram fasa terner Cu-Zn-Al. Fasa α memiliki karakteristik berwarna terang, untuk fasa β berwarna gelap, dan fasa γ berbentuk seperti butiran presipitat berwarna gelap [4]. Dari hasil metalografi tersebut dapat diketahui bahwa fasa α merupakan fasa yang lebih dominan dibandingkan dengan fasa β dan fasa γ . Hal ini dapat dibuktikan dengan persentase area yang telah dihitung menggunakan aplikasi fiji menunjukkan bahwa berdasarkan Tabel 2 untuk persentase area fasa α sebesar 65,974%, untuk fasa β sebesar 32,889%, dan untuk fasa γ sebesar 1,137%. Dengan adanya fasa α dan fasa β yang muncul dalam hasil metalografi, dapat mengindikasikan bahwa paduan Cu-21Zn-5Al memiliki efek *shape memory* [5].



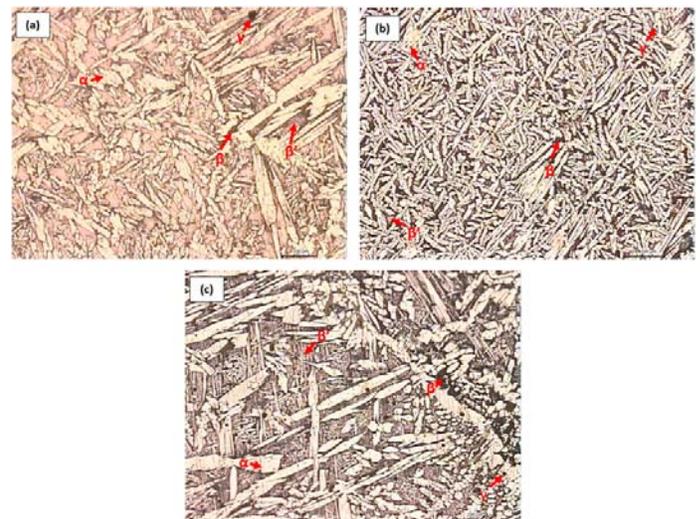
Gambar 5. Hasil pengujian metalografi spesimen *brine* Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan *holding time* (a) 10 menit (b) 30 menit, dan (c) 60 menit

Pada Gambar 5 (a) menunjukkan hasil pengujian metalografi pada spesimen B10 Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan perbesaran 100x dimana dapat terlihat fasa yang muncul adalah fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Pada spesimen ini fasa martensit muncul paling dominan diantara fasa-fasa yang lain, hal ini dibuktikan dengan besar persentase yang telah dianalisis menggunakan aplikasi fiji. Untuk fasa α sebesar 31,226%, untuk fasa β sebesar 26,546%, untuk fasa γ sebesar 1,330%, dan untuk martensit sebesar 40,898%. Dengan adanya fasa martensit maka akan berpotensi untuk terjadi transformasi martensit dimana akan mengakibatkan adanya efek *shape memory*. Semakin banyak martensit yang terbentuk maka efek *shape memory* yang dihasilkan akan lebih baik [6].

Kemudian pada Gambar 5 (b) menunjukkan hasil pengujian metalografi pada spesimen B30 Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* pada perbesaran 500x, dimana dapat terlihat bahwa fasa yang terbentuk adalah α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Namun pada spesimen ini, ukuran butir relatif lebih kecil dibandingkan dengan spesimen-spesimen yang lain, sehingga struktur baru dapat dilihat dengan jelas saat menggunakan perbesaran mikroskop yang lebih besar. Hal ini dikarenakan bahwa semakin lama waktu yang digunakan pada proses *solution treatment* maka akan menyebabkan pertumbuhan butir [6]. Besar persentase fasa yang terbentuk juga telah dianalisis menggunakan aplikasi fiji sehingga didapatkan hasil untuk fasa α yaitu sebesar 47,372%, untuk fasa β sebesar 24,328%, untuk fasa γ sebesar 0,395%, dan untuk martensit sebesar 27,905%. Dengan adanya struktur martensit yang muncul maka spesimen B30 berpotensi untuk memiliki efek *shape memory*.

Pada Gambar 5 (c) menunjukkan hasil pengujian metalografi pada spesimen B60 Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan perbesaran 100x. Dimana fasa yang terbentuk pada spesimen dapat dilihat pada gambar yaitu fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Dengan besar persentase fasa γ sebesar 32,646%, fasa β sebesar 28,608%, fasa γ sebesar 4,399%, dan martensit sebesar 34,347%. Dengan adanya struktur martensit pada seluruh media pendingin *brine solution* maka spesimen tersebut memiliki potensi adanya efek *shape memory*.

Kemudian pada Gambar 6 (a) merupakan hasil pengujian metalografi pada spesimen DI10 Cu-21Zn-5Al *shape memory*



Gambar 6. Hasil pengujian metalografi spesimen *dry ice* Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan *holding time* (a) 10 menit (b) 30 menit, dan (c) 60 menit

alloys dengan perbesaran 100x. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fasa yang terbentuk adalah fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Persentase fasa juga telah dihitung dengan menggunakan aplikasi fiji untuk mengetahui besar tiap fasanya. Untuk fasa α adalah sebesar 63,838%, untuk fasa β sebesar 14,374%, untuk fasa γ sebesar 2,454%, dan untuk martensit sebesar 19,334%. Pada spesimen *dry ice* ini persentase martensit yang terbentuk lebih sedikit daripada martensit yang terbentuk pada spesimen *brine solution*. [7]

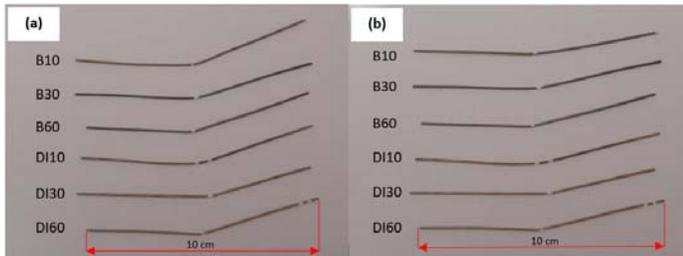
Pada Gambar 6 (b) merupakan hasil pengujian metalografi pada spesimen DI30 Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan perbesaran 100x dimana dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk masih sama dengan spesimen sebelumnya yaitu fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Kemudian besar persentase fasa juga telah dianalisis untuk setiap fasa yang terbentuk. Untuk fasa α persentasenya sebesar 57,378%, untuk fasa β sebesar 27,227%, untuk fasa γ sebesar 1,904%, dan martensit sebesar 13,491%.

Pada Gambar 6 (c) merupakan hasil pengujian metalografi untuk spesimen DI60 Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys* dengan perbesaran 100x, dimana menurut gambar tersebut fasa yang terbentuk terdapat beberapa fasa yaitu fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit. Setelah dilakukan analisis menggunakan aplikasi fiji, maka didapatkan besar persentase tiap fasa yang terbentuk. Untuk fasa α yaitu sebesar 45,13%, untuk fasa β sebesar 24,937%, untuk fasa γ sebesar 2,089% dan untuk martensit sebesar 27,844%.

Pada semua spesimen *dry ice* muncul fasa yang sama yaitu fasa α , fasa β , fasa γ , dan juga martensit namun yang membedakan hanyalah persentasenya saja dimana dari semua spesimen fasa yang paling dominan adalah fasa α . Hal ini juga sesuai dengan hasil pengujian XRD yang menunjukkan bahwa intensitas fasa α memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dengan fasa lain yang terbentuk. Kemudian untuk spesimen dengan media pendingin *dry ice* memiliki persentase martensit yang lebih sedikit dibandingkan dengan media pendingin *brine*, hal ini dikarenakan media pendingin *dry ice* berbentuk padat sehingga ketika proses *quenching* pendinginan tidak merata di seluruh bagian spesimen.

C. Hasil Pengujian Efek Shape Memory

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil sesuai dengan Gambar 7 di bawah ini dan setelah dilakukan pengujian maka nilai *recovery* dari semua spesimen yang didapatkan dirangkum pada Tabel 3 yang tertera di bawah ini.



Gambar 7. Spesimen uji efek *shape memory* berbagai variabel (a) Sebelum diuji (b) Setelah diuji

Tabel 3. Hasil pengujian efek *shape memory* pada Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys*

Spesimen	Recovery (%)
B10	36,67 ± 12,58
B30	21,67 ± 5,77
B60	25 ± 0
DI10	16,67 ± 7,64
DI30	13,33 ± 7,64
DI60	20 ± 0

Menurut Kumar (2008), suatu *Shape Memory Alloys* memiliki *Shape Memory Effect* (SME) ketika dideformasi dalam fasa *twinned* martensit dan ketika beban dilepaskan pada saat temperatur di bawah A_s . Selanjutnya ketika dipanaskan diatas A_f , *shape memory alloys* akan kembali kebentuk aslinya dengan berubah menjadi fasa induknya yaitu fasa austenitik. Untuk itu proses pengujian efek *shape memory* diawali dengan proses penekukan berupa pemberian tegangan untuk mengubah fasa *twinned* martensit menjadi *detwinned* martensit. Kemudian dipanaskan sehingga fasanya berubah kembali ke fasa induk yaitu austenit sehingga bentuk akan kembali seperti semula. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai *recovery* yang paling besar terletak pada spesimen B10 dengan nilai *recovery* sebesar 36,67%, untuk spesimen B30 sebesar 21,67%, untuk spesimen B60 sebesar 25%, untuk spesimen DI10 sebesar 16,67%, untuk spesimen DI30 sebesar 13,33%, dan untuk spesimen DI60 sebesar 20%. Hal ini membuktikan adanya kesesuaian dengan hasil pengujian metalografi yang menunjukkan bahwa martensit yang terbentuk pada spesimen B10 paling banyak. Jika semakin banyak martensit yang terbentuk maka efek *shape memory* akan meningkat pula [7].

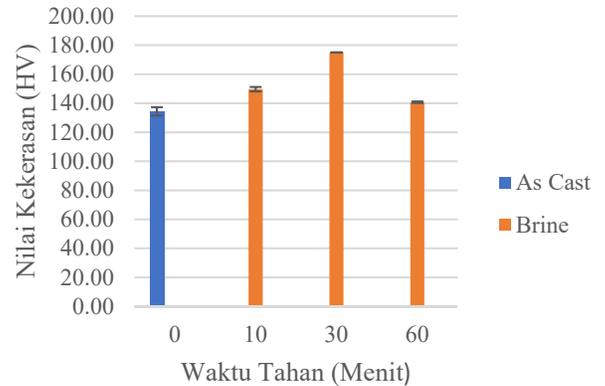
Pada hasil metalografi juga dapat diketahui bahwa pada spesimen *dry ice* fasa yang lebih dominan diantara fasa yang lain adalah fasa α . Dimana dengan adanya banyak fasa α akan menyebabkan berkurangnya kemampuan efek *shape memory* pada *shape memory alloys* [5].

D. Hasil Pengujian Kekerasan

Dari pengujian kekerasan yang dilakukan pada tiga titik, maka didapatkan nilai kekerasan *hardness* vickers seperti yang tertera pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan

Spesimen	Nilai Kekerasan (HV)
As Cast	134,33 ± 2,89
B10	149,67 ± 1,53
B30	175 ± 0
B60	140,67 ± 0,57



Gambar 8. Grafik nilai kekerasan Cu-21Zn-5Al *shape memory alloys*

Gambar 8 menunjukkan hasil nilai pengujian kekerasan dan didapatkan bahwa kekerasan untuk spesimen *as cast* memiliki nilai 134,33 ± 2,89 HV, untuk spesimen B10 149,67 ± 1,53 HV, untuk spesimen B30 175 ± 0 HV, untuk spesimen B60 memiliki nilai 140,67 ± 0,57 HV. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa nilai kekerasan meningkat setelah diberi perlakuan panas. Sifat keras pada Cu-Zn-Al *shape memory alloys* berasal dari adanya fasa β , karena fasa β memiliki sifat yang keras dan rapuh pada paduan Cu-Zn. Unsur Al dapat meningkatkan fasa β sehingga dapat meningkatkan kekerasan. Ketika dilakukan pendinginan cepat, maka terbentuk fasa martensit. Semakin cepat laju pendinginan, maka fasa martensit yang terbentuk semakin cepat dan banyak. Pada baja, sifat martensit adalah keras. Namun, pada *shape memory alloys*, sifat martensit adalah lunak.

Pada spesimen *brine solution* dapat dilihat pada grafik terjadi kekerasan optimum pada spesimen dengan *holding time* 30 menit. Semakin lama waktu yang digunakan untuk perlakuan panas *solution treatment* maka akan menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir, dimana pertumbuhan butir tersebut akan meningkatkan kekerasan pada spesimen. Namun, setelah dilakukan proses *quenching* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*). Seiring dengan penambahan waktu *holding*, maka mulai terbentuk zona presipitat dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *holding* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul dan terbentuk fasa yang halus (fasa β). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *holding* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *over aged*. Pada daerah *over aged* ini akan didapatkan fasa α , jika fasa α ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya. Penurunan nilai kekerasan juga disebabkan

karena adanya fasa α , dimana dalam paduan Cu-Zn fasa α memiliki karakteristik yaitu struktur kristal FCC yang bersifat ulet, nilai kekerasan yang rendah dan mudah dilakukan pengerjaan dingin.

[11] Stosic, Zoric, D. Manasijevic, L. Balanovic, T.H. Grguiric, U. Stamenkovic, M. Premovic, D. Minic, M. Gorgievski, R. Todorovic . 2017. Effects of Composition and Thermal Treatment of Cu-Al-Zn Alloys

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pengaruh *holding time* proses *solution treatment* dan variasi media pendingin pada paduan Cu-21Zn-5Al menghasilkan efek *shape memory* pada semua spesimen uji dengan nilai *recovery* yang bervariasi. Nilai *recovery* terbaik yang didapatkan adalah spesimen *brine solution* dengan *holding time* 10 menit dengan nilai *recovery* sebesar 36,67%.

2. Pengaruh *holding time* pada proses *solution treatment* menghasilkan butir struktur mikro yang lebih kecil pada *holding time* 30 menit sehingga didapatkan kekerasan maksimum. Serta, variasi media pendingin mempengaruhi pembentukan martensit pada paduan Cu-21Zn-5Al, dimana martensit terbentuk paling banyak pada spesimen dengan media pendingin *brine solution*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini hingga selesai. Kedua orang tua penulis yang selalu memberi motivasi dan semangat. Serta berbagai pihak yang telah mendukung penelitian ini dan dapat berjalan lancar sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bagherpour, M. 2017. *Effect of Severe Plastic Deformation on Shape Memory and Mechanical Properties of Nanostructured Cu-Zn-Al Alloy*. Journal of Nano and Electronic Physics Vol. 9 No 1, 01008 (6pp) Sumy State University.
- [2] ASM. 1992. *ASM Handbook Volume 2 : Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee
- [3] Kumar, P.K. dan D.C. Lagoudas. 2008. *Shape memory alloys : Modeling and Engineering Applications*. Springer : US.
- [4] ASM. 2004. *ASM Handbook Volume 9 : Metallography and Microstructure*. ASM International Handbook Committee.
- [5] Dasgupta, Rupa, A. K. Jain, P. Kumar, S. Hussein, A. Pandey. July 2014. "Effect of Alloying Constituents on the Martensitic Phase Formation in Some Cu-Based SMAs". *Journal of Materials Research and Technology* 3:264-273.
- [6] _____. 1991. *ASM Handbook Volume 4 : Heat Treating*. ASM International Handbook Committee.
- [7] Panjaitan, Elman, S.G. Sukarjo. 2016. "Pengaruh Waktu Penuaan Terhadap Sifat Superelastisitas Paduan Shape Memory Ti-50,85% at Ni". Pusat Penelitian dan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi Bahan-BATAN 01:75 – 84.
- [8] Asanovic, V., Delijic, K. 2007. The Mechanical Behavior And Shape Memory Recovery of Cu-Zn-Al Alloys. *Metlurgija: Journal of Metallurgy*.13:57-65
- [9] Newey, C., Weaver, G. 1990. *Materials Principles and Practice*. Butterworth-Heinemann: Britania Raya.
- [10] Balfas, Aminah. 2012. *Analisis Termal Bionanokomposit Filler Serat Kulit Rotan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.