



Contents list available at [Sinta](https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur)

A R M A T U R

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>



Pengaruh waktu *aging* terhadap perubahan sifat fisik paduan ingat bentuk (*shape memory alloy*) Cu-Zn-Al

Rico Josua^{1*}, Budiarto²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jl. Diponegoro No. 84-86, Jakarta Pusat 10430 - Indonesia Telp. (021)-3920174

A R T I C L E I N F O

Keywords:

Shape memory alloy
Aging
Crystal structure
Hardness
Physical properties

A B S T R A C T

Cu-Zn-Al alloy is a shape memory alloy (SMA) that is widely used due to its high transformation temperature. This study aimed to determine the effect of variations in aging time (1.3 and 5 hours) on physical changes (crystal structure and hardness) in Cu-Zn-Al alloys. The method used in this study is powder metallurgy by combining Cu, Zn, and Al powders. Followed by mixing them and then compacting the alloy. The alloy was sintered at 400°C and quenched at room temperature for 24 hours. Then the alloy was given various heat treatments (aging) for 1.3 and 5 hours at 200 °C. Microstructure and hardness tests were carried out on Cu-Zn-Al alloys to determine the properties of the alloy after being treated. From the test, it was found that the hardness value increased from 303 HBN to 375 HBN (1 hour), 351 HBN (3 hours), and 320 HBN (5 hours), and there was a change in crystal size, dislocation density, and lattice strain.

Pendahuluan

Shape memory alloys (SMAs) atau paduan ingat bentuk ditemukan pada abad ke-20 dan banyak diaplikasikan ke dalam teknologi sampai saat ini dimana paduan logam ingat bentuk khususnya NiTi (nitinol) ditemukan pertama kali oleh *Naval Ordnance Laboratory*. Shape memory alloys (SMAs) sendiri merupakan bagian dari Shape Memory Materials (SMMs) yang memiliki kemampuan untuk “mengingat” atau mempertahankan bentuk awalnya saat diberikan perlakuan tertentu seperti variasi termomekanik atau magnetik. Paduan ingat bentuk telah banyak menarik perhatian kalangan industri untuk pengaplikasian produk komersial dalam beberapa tahun terakhir, dikarenakan properti paduan ingat

bentuk yang sangat unik dan sifatnya yang unggul [1].

Saat ini, berbagai jenis kelompok paduan ingat bentuk sudah sangat terkenal dan juga digunakan pada aplikasi yang berbeda-beda dimana properti paduan diubah sesuai dengan kebutuhan [2]. Kombinasi unik dari sifat-sifat yang disediakan oleh aluminium dan paduannya menjadikan aluminium salah satu bahan logam yang paling serbaguna, ekonomis, dan menarik [3].

Penambahan seng (Zn) ke dalam paduan Tembaga (Cu) dan Aluminium (Al) menghasilkan sistem ternary baru yaitu, Cu-Zn-Al. Paduan ini memiliki suhu transformasi yang dapat dengan mudah dimodifikasi yaitu pada rentang suhu -100 dan 100 °C dimana paduan sangat

*Corresponding author: kojosilaen@gmail.com
<https://10.24127/armatur.v4i1.3343>

Received 31 January 2023; Received in revised form 12 February 2023; Accepted 14 February 2023
Available online 1 March 2023

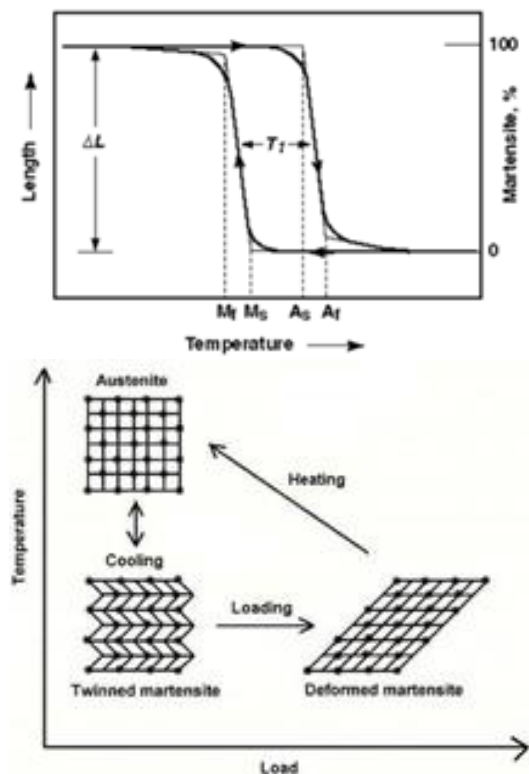
menguntungkan jika dibandingkan dengan paduan Tembaga dan Aluminium [4].

Namun, paduan Cu-Zn-Al juga memiliki kelemahan dimana paduan tersebut sulit untuk mengontrol komposisi kimia yang akurat dalam peleburan dan ketahanan leleh yang rendah sebagai akibat dari retak interkristalin [5]. Untuk mengatasi masalah ini, maka dilakukan penelitian dengan proses perlakuan panas yang efisien atau lebih dikenal dengan istilah *artificial aging*. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengamati perubahan apa yang terjadi jika dilakukan perlakuan *aging* dengan variasi waktu 1 jam, 3 jam dan 5 jam, dengan suhu 200°C pada paduan Cu-Zn-Al dengan fraksi volum Cu 70%, Zn 20% dan Al 10% [4].

Tinjauan Pustaka

Shape memory alloy (SMA) memiliki dua sifat paduan yang sangat unik yaitu, *Shape Memory Effect* (SME) dan *superelasticity Effect* (SE). Dua sifat unik tersebut timbul karena adanya perubahan fase padat dimana terjadi penataan ulang struktur molekul pada paduan memori bentuk. Dua fase padat tersebut adalah martensit dan austenit. Martensit adalah fase yang terdapat pada suhu rendah dimana memiliki karakteristik relatif lunak dan mudah terdeformasi dengan beban yang relatif kecil. Berbeda dengan martensit, austenit merupakan fase yang lebih kuat dan terdapat pada suhu tinggi pada *Shape memory alloy* (SMA) [6].

Temperatur saat bahan berfase austenit berubah menjadi fasa martensit dikenal sebagai *martensite start* (M_s) dimana berlangsung terus sampai fasa martensit stabil pada temperatur *martensite finish* (M_f) [6]. Ketika bahan dipanaskan dan fasa berubah menjadi fasa austenit dapat dikenal sebagai temperatur *austenite start* (A_s), dimana hal ini berlangsung hingga temperature *austenite finish* (A_f) seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme sifat ingat bentuk (*shape memory*)

Shape memory alloy memiliki sifat yang berbeda dibandingkan dengan jenis bahan-bahan lainnya. Sifat utama yang dimiliki oleh *Shape memory alloy* (SMA) adalah *Superelasticity Effect* (SE) dan *Shape Memory Effect* (SME). *Pseudo-elasticity* atau *Superelasticity Effect* (SE) terjadi pada paduan memori ingat bentuk ketika paduan sepenuhnya terdiri dari austenit (suhu lebih besar dari A_f). Berbeda dengan efek memori bentuk, efek superelastisitas terjadi tanpa adanya perubahan suhu. *Shape Memory Effect* (SME) atau efek memori bentuk terjadi pada saat paduan memori bentuk berada pada fasa martensit yaitu pada saat suhu paduan memori bentuk didinginkan hingga di bawah suhu M_f seperti pada gambar 1 [7].

Pembuatan produk komersial dari suatu logam adalah dengan melakukan proses metalurgi serbuk. Proses ini dapat diaplikasikan untuk benda jadi maupun benda yang setengah jadi. Pada metalurgi serbuk, logam terlebih dahulu dihancurkan menjadi serbuk, lalu serbuk ditekan dengan cetakan dan pada tahap ini akan melawati proses pemanasan dengan suhu dibawah

titik leleh serbuk tersebut. Partikel serbuk perlu diikat setelah dilakukan penekanan sehingga dilakukan tahapan sinter dimana dengan ini juga partikel dan sifat fisik serbuk akan meningkat. Pembuatan paduan dengan metode ini terdiri dari: penyusunan dan pencampuran (*mixing*), penekanan (kompaksi), dan pemanasan (*sintering*) [8].

Pada tahap awal, metalurgi serbuk akan dilakukan penyusunan (*mixing*) dimana merupakan pemilihan bahan logam yang akan digunakan sesuai dengan hasil yang diinginkan. Bahan dipilih berdasarkan sifat fisik dan mekanik bahan yang ingin dihasilkan dimana hal ini dapat diprediksi pada tahapan awal penelitian. Setelah proses penyusunan selesai, maka selanjutnya dilakukan proses pencampuran dimana hasil akhir paduan logam bergantung pada keberhasilan tahapan ini dan wajib dilakukan dengan akurat sesuai karakteristik bahan penyusun paduan logam [8].

Selanjutnya, kompaksi atau penekanan yang merupakan proses pemadatan logam serbuk dengan memberikan tekanan pada serbuk logam hingga terbentuk sesuai yang diinginkan. Terdapat 2 jenis kompaksi yaitu terbagi atas penekanan panas (*hot compaction*) dan penekanan dingin (*cold compaction*) [8]. metode penekanan dingin (*cold compaction*) dilakukan untuk menghindari terjadinya reaksi oksida pada sampel yaitu matrik aluminium yang sangat mudah mengalami oksidasi [8].

Selanjutnya adalah pemanasan (*sintering*) yang merupakan suatu tahapan proses untuk meningkatkan partikel melalui proses pemanasan dibawah suhu titik lebur bahan yang komposisinya paling banyak diantara bahan lain pada saat dilakukan proses penekanan. Proses *sintering* memiliki pengaruh besar dalam pembentukan fase kristal paduan dimana terbentuknya fase fraksi tergantung dari suhu dan waktu pada proses *sintering*. Semakin tinggi temperatur saat proses *sintering* maka akan semakin singkat pula proses terbentuknya kristal. Selain itu, tinggi maupun rendah suatu temperatur akan mempengaruhi ukuran

celah, dan struktur terbentuknya suatu kristal [9].

Terakhir, dilakukan tahapan *heat treatment* pada paduan logam aluminium dapat dilakukan dengan cara yaitu dengan melakukan proses penuaan keras (*age hardening*). Dengan proses ini, paduan akan memiliki kekuatan maupun kekerasan yang besar jika dibandingkan dengan sebelum diberikan perlakuan penuaan keras [10]. Tahapan *aging* atau penuaan dilakukan dalam proses *age hardening*. Terjadinya perubahan sifat seiring dengan berjalannya waktu menunjukkan bahwa suatu paduan mengalami penuaan. *Aging* dalam paduan logam dapat dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu penuaan alami atau *natural aging* dan penuaan buatan atau *artificial aging* [11].

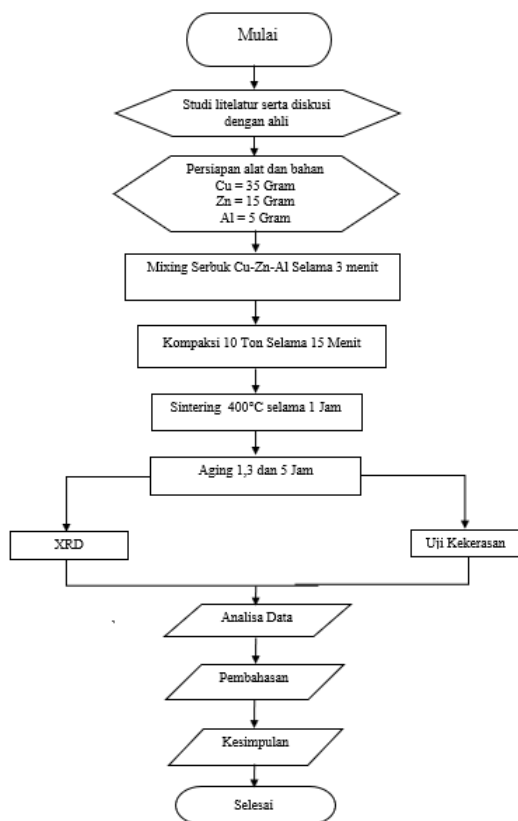
Untuk mengetahui struktur mikro dan kekerasan suatu bahan yang sudah diberi perlakuan khusus maka dilakukan suatu uji yaitu dengan menggunakan uji difraksi sinar-X (XRD) dan uji *Brinell*. Keseluruhan XRD terdiri atas sumber sinar-X, sampel dan detektor. Senyawa kimia suatu sampel dapat diidentifikasi dengan difraktometer sinar-X. Alat uji ini memiliki tolak ukur yaitu dengan menggunakan analisis kuantitatif dan kualitatif. Pada umumnya, data hasil dari tahapan proses ini digambarkan dengan grafik $I = f(2\theta)$ dimana profil dalam kristal menunjukkan senyawa kimia bahan dan juga karakteristiknya [12].

Sedangkan, Pengujian *Brinell* merupakan jenis uji kekerasan dengan cara menusuk atau menekan spesimen dengan menggunakan indenter dengan bentuk bola baja yang sudah dikeraskan atau karbida tungsten [13]. Uji ini dilakukan untuk mengetahui kondisi saat struktur mikro dari suatu bahan tidak dapat kembali ke bentuk semula saat diberikan bahan tersebut diberikan gaya.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan oleh penulis adalah eksperimental. Adapun sampel yang digunakan adalah *One Shoot Study* atau

“sample sekali pakai”. Eksperimen pada sample dilakukan dengan sekali treatment atau perlakuan sesuai dengan variasi heat treatment yang ditentukan. Nantinya sample tersebut variasi sampel tersebut akan diuji dan darisitu didapatkan hasil yang akan dianalisa. Dari analisa dapat dilihat dampak perbedaan variasi waktu heat treatment terhadap paduan Cu-Zn-Al. Diagram alur proses penelitian ini dapat dirujuk pada gambar 2. berikut.



Gambar 2. Diagram alir metode penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan bahan/material Cu,Zn dan Al dalam bentuk *fine powder*, yang kemudian dicampurkan lalu di *mixing* selama 3 menit menggunakan *ball mill* lalu dikompaksi dengan alat *hydraulic press* selama 15 menit dengan beban 10 ton. Nantinya sample akan berbentuk seperti koin dengan tebal ± 4 mm dan diameter 25mm seperti gambar 3.



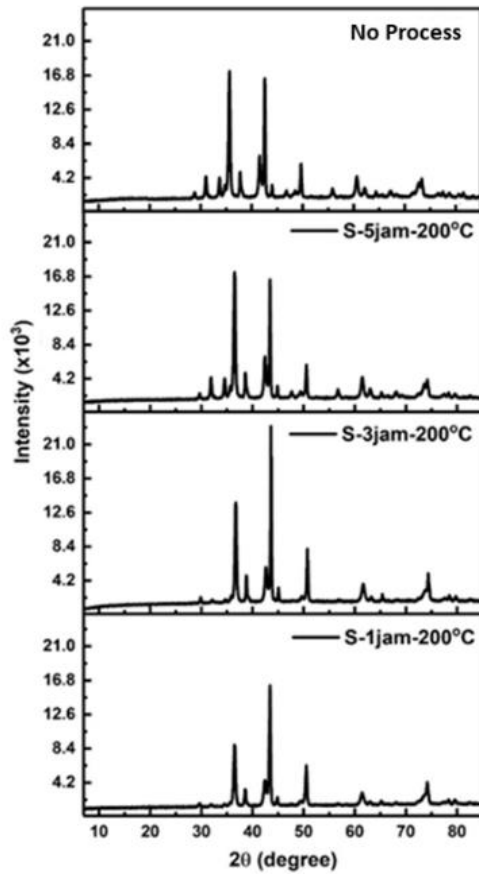
Gambar 3. Hasil sampel

Setelah sample uji jadi, maka dilanjutkan dengan proses *sintering* pada suhu 400°C selama 1 jam untuk mencapai 2/3 titik leleh pada paduan tersebut. Lalu dilakukan *quenching* dengan suhu ruangan selama 24 jam. Setelah semua proses selesai, sampel dibawa ke laboratorium untuk dilakukan uji XRD dan uji kekerasan dengan variasi suhu *aging* 1,3 dan 5 jam serta sample tanpa proses *aging*.

Nantinya akan diperoleh 4 data dari 4 sample yang berbeda (tanpa proses, *aging* 1 jam, 3 jam, 5 jam) yang akan dianalisa untuk mengetahui perubahan sifat fisik (struktur mikro dan kekerasan) pada paduan tersebut.

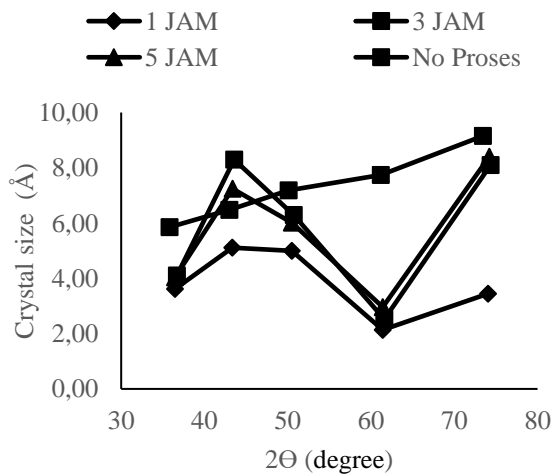
Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian XRD menggunakan alat difraktometer sinar-x pada paduan Cu-Zn-Al, dapat dilihat ada beberapa difraksi puncak yang terdapat pada waktu *aging* 1, 3, 5 jam dan tanpa proses *aging*. Data-data puncak tersebut yang dapat kita ambil nilainya untuk dijadikan perhitungan ukuran kristal, regangan kisi, kerapatan dislokasi.

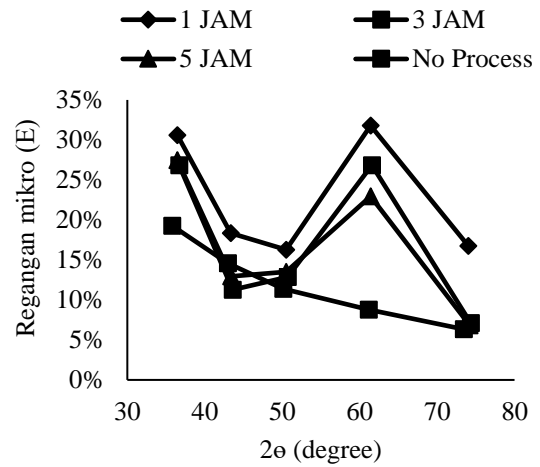


Gambar 4. Pola difraksi sinar-x pada paduan Cu-Zn-Al tanpa proses aging dan dengan waktu aging 1,3 dan 5 jam

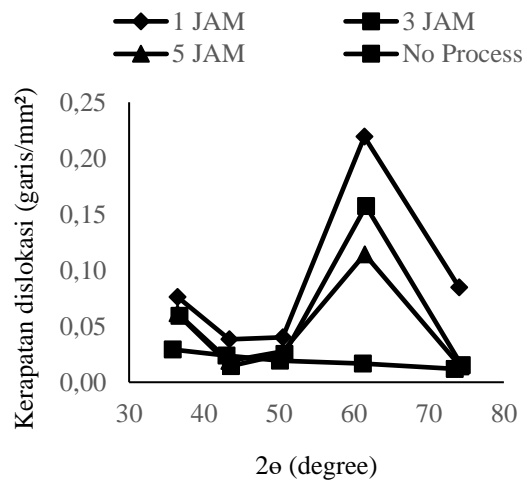
Terlihat dari Gambar 4, pola difraksi sinar-x tanpa proses *aging* dan waktu *aging* 1,3 dan 5 memiliki kemiripan pola puncak yang dimana terjadi pada sudut 2θ antara 35° sampai 74° .



Gambar 5. Perbandingan ukuran kristal paduan Cu-Zn-Al tanpa proses aging, aging 1 jam, 3 jam dan 5 jam



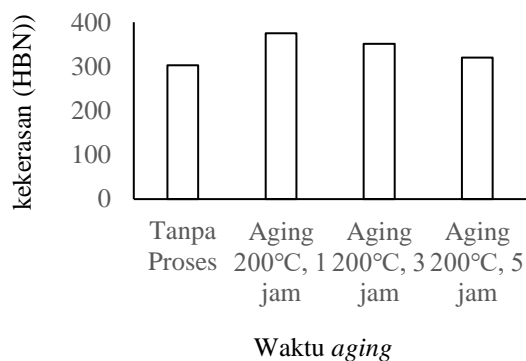
Gambar 6. Perbandingan regangan mikro paduan Cu-Zn-Al tanpa proses aging, aging 1 jam, 3 jam dan 5 jam



Gambar 7. Perbandingan kerapatan dislokasi paduan Cu-Zn-Al tanpa proses aging, aging 1 jam, 3 jam dan 5 jam

Gambar 5, 6 dan 7 memperlihatkan perbandingan ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan mikro yang dimana grafik terbentuk dengan antar proses *aging* tidak jauh berbeda satu dengan lainnya. Sedangkan paduan tanpa proses *aging* jauh berbeda dengan paduan yang diberlakukan proses *aging*. Namun jika dilihat pada sudut 72° - 73° terlihat ada kesamaan antar proses *aging* 3, 5 dan tanpa proses *aging*. Pada proses *aging* 3 dan 5 jam terjadi proses overaged yang menyebabkan ukuran kristal, kerapatan dislokasi dan regangan mikro kembali seperti awal. Ini disebabkan karena

terbentuknya fasa martensite. Semakin lama waktu *aging* maka semakin besar ukuran kristal. dengan besarnya ukuran kristal menyebabkan kekerasan semakin meningkat. Bisa kita lihat pada pembahansan kekerasan paduan. Pada Gambar 1 terlihat bahwa pada waktu *aging* 1,3 dan 5 jam memiliki pola difraksi dengan intensitas tertinggi pada sudut $2\theta = 43^\circ$. Sedangkan puncak-puncak lainnya terletak pada daerah 36° sampai 74° . Jika kita merujuk pada hasil penelitian oleh Bambang Sunendar, Suyatman dan Chriswan Sungkono dari Departemen Teknik Fisika, FTI - ITB mengenai paduan Cu-Al-Ni [14], senyawa tersebut diidentifikasi sebagai struktur martensite tipe 18R (fasa β_1) [15].



Gambar 8. Perbandingan tingkat kekerasan dalam satuan Brinell

Pada gambar 8. mellihatkan bahwa terjadi peningkatan kekerasan dari paduan tanpa proses *aging* ke paduan dengan waktu *aging* 1 jam sebesar 72 HBN. Hal ini disebabkan karena terjadinya dislokasi atom yang menyebabkan meningkatnya kekerasan ketika paduan Cu-Zn-Al diberikan perlakuan panas (*aging*) [16]. Namun, semakin lama perlakuan *aging*, maka semakin lemah tingkat kekerasannya. Ini bisa disebabkan oleh terbentuknya endapan hitam pada butiran yang efeknya akan mengurangi kemampuan pemulihan bentuk (SME) pada paduan Cu-Zn-Al tersebut [4]. Terjadinya penurunan ini juga disebabkan karena terciptanya daerah overaged. Pada daerah overaged makan akan terbentuk fasa Θ . Jika fasa Θ ini muali terbentuk, akan mengakibatkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan

berkurang kekerasannya. Ini dapat dibuktikan dengan bertambahnya ukuran kristal dari waktu *aging* 1 jam ke waktu *aging* 5 jam. Semakin besar ukuran kristal, maka kekerasan suatu paduan akan semakin menurun. Tingkat kekerasan juga dipengaruhi oleh komposisi jumlah Zn dan Al pada paduan [16].

Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dengan variasi waktu *aging*, didapatkan perubahan signifikan pada sifat fisik (struktur mikro dan kekerasan) paduan Cu-Zn-Al. Terjadi perubahan ukuran krisal, kerapatan dislokasi dan regangan kisi dengan rata-rata tanpa proses *aging* sebesar $7,282 \text{ \AA}$, $0,020 \text{ garis/mm}^2$, 12%. Ketika melalui proses *aging* selama 5 jam rata-ratanya menjadi $5,7289 \text{ \AA}$, $0,047 \text{ garis/mm}^2$, 17%. Untuk nilai kekerasan sendiri mengalami kenaikan yang awal tanpa proses sebesar 303 HBN naik menjadi 375, 351, 320 HBN dengan variasi proses *aging* 1, 3 dan 5 Jam. Namun terjadi proses *overaged* ketika proses *aging* memasuki waktu 3 dan 5 jam yang menyebabkan kekerasan semakin menurun. Kurangnya sample variasi waktu *aging* menyebabkan penelitian ini menjadi kurang optimal. Untuk penelitian selanjutnya sebaiknya ditambahkan variasi waktu yang lebih lama agar mendapatkan hasil (pengaruh waktu *aging*) yang lebih akurat.

Referensi

- [1] H. Wen, T. D. Topping, D. Isheim, D. N. Seidman, and E. J. Lavernia, "Strengthening mechanisms in a high-strength bulk nanostructured Cu-Zn-Al alloy processed via cryomilling and spark plasma sintering," *Acta Mater.*, vol. 61, no. 8, pp. 2769–2782, 2013, doi: 10.1016/j.actamat.2012.09.036.
- [2] P. S. Lobo, J. Almeida, and L. Guerreiro, "Shape Behaviour: A Review," *Procedia Eng.*, vol. 114, pp. 776–783, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.025.

- [3] J. Mohd Jani, M. Leary, A. Subic, and M. A. Gibson, "A review of *shape memory alloy* research, applications and opportunities," *Mater. Des.*, vol. 56, pp. 1078–1113, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2013.11.084.
- [4] R. Dasgupta, "A look into Cu-based *shape memory alloys*: Present scenario and future prospects," *J. Mater. Res.*, vol. 29, no. 16, pp. 1681–1698, 2014, doi: 10.1557/jmr.2014.189.
- [5] G. Saha, M. Ghosh, A. Antony, and K. Biswas, "Ageing Behaviour of Sc-Doped Cu–Zn–Al *Shape* ," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 1569–1581, 2019, doi: 10.1007/s13369-018-3621-4.
- [6] "Shape : Part One: Total Materia Article," 2008. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&N M=207> (accessed Jan. 02, 2023).
- [7] Barnes; Clive, "Innovations: Shape Memory and Superelastic Alloys," *July*, 1999. <https://www.copper.org/publications/newsletters/innovations/1999/07/shape.html> (accessed Jan. 20, 2023).
- [8] D. Kopeliovich, "Die pressing of metallic powders [SubsTech]," *SubsTech (Substances & Technoogy)*, 2012. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=die_pressing_of_metallic_powders
- [9] F. V. Lenel, *Powder metallurgy: principles and applications*. Princeton, New Jersey, 1980.
- [10] I. Kamenichny, *A Short Handbook Of Heat Treatment*. Peace Publishers Moscow, 1969.
- [11] A. Schonmetz, K. Gruber, and T. Eddy D. (Eddy Djuhdy) Hardjapamekas, *Pengetahuan bahan dalam pengerjaan logam: pengerjaan benda-benda setengah jadi, pengertian dasar kimia, pengertian dasar fisika, unsur-unsur mesin/Alois Schonmetz, Karl Gruber*. Bandung: Angkasa, 1985.
- [12] J. Epp, *X-Ray Diffraction (XRD) Techniques for Materials Characterization*. Elsevier Ltd, 2016. doi: 10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3.
- [13] R. Hill, B. Storakers, and A. B. Zdunek, "A theoretical study of the *Brinell hardness* test," *Proc. R. Soc. London. A. Math. Phys. Sci.*, vol. 423, no. 1865, pp. 301–330, 1989, doi: 10.1098/rspa.1989.0056.
- [14] Bambang Sunendar, S. Suyatman, and C. Sungkono, "Persiapan, Pembuatan Dan Karakterisasi Paduan Ingot Bentuk Cu-Al-Ni _ Sunendar _ Jurnal Sains Materi Indonesia", doi: 10.17146/jsmi.2006.7.3.4989.
- [15] J. Gui, C. Luo, W. Hu, and R. Wang, "The effect of thermal treatment on the structure and fine structure of Cu - Zn - Al martensite," vol. 25, pp. 1675–1681, 1990.
- [16] N. Kayali, S. Özgen, and O. Adigüzel, "The influence of ageing on martensite morphology in shape memory CuZnAl alloys," *J. Phys. IV JP*, vol. 7, no. 5, 1997, doi: 10.1051/jp4:1997550.