

Pengaruh *Aging* Paduan Al-Si-Cu Bahan Wajan Produk IKM Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik

Teddy Marvin Silalahi¹, Ratna Kartikasari², Wartono³

^{1 2 3}Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Korespondensi : ²ratna@itny.ac.id, ¹teddymarvin@gmail.com, ³wartono@itny.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas wajan produk IKM dengan cara memberikan perlakuan panas pada paduan aluminium sebagai bahan wajan. Proses perlakuan yang diberikan adalah *aging* (pengerasan usia) dengan tujuan agar paduan mengalami peningkatan pada kekuatan tarik, kekerasan, keuletan dan mengubah struktur mikro menjadi butiran yang lebih halus. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aluminium paduan Al-Si-Cu dengan variasi kadar Cu berbeda-beda mulai dari 2%, 4% dan 6%. Proses *aging* dilakukan dengan tahapan pertama yaitu pemanasan pada temperatur 525 °C selama 1 jam, dilanjutkan pendinginan dalam media air. Kemudian paduan Al-Si-Cu dipanaskan kembali pada temperatur 195 °C selama 5 jam kemudian didinginkan di udara. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro menggunakan mikroskop optik, uji kekerasan *Brinell*, uji tarik dan uji impak dengan metode *Charpy*. Struktur mikro menunjukkan bahwa paduan Al-Si-Cu memiliki fasa Al, Si dan CuAl₂. Nilai kekerasan tertinggi terdapat spesimen perlakuan *aging* pada penambahan Cu 4% sebesar 21,63 BHN. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai tegangan tertinggi terjadi pada paduan 4 % Cu dengan perlakuan *aging* sebesar 18,93 MPa dan nilai regangan sebesar 0,94%. Pengujian impak menghasilkan harga impak tertinggi pada *raw material* dengan kadar 2% Cu sebesar 0,007 J/mm².

Kata kunci: Paduan Al-Si-Cu, Wajan produk IKM, *Aging*, Kekerasan, Kekuatan tarik

ABSTRACT

This research is one of the efforts to improve the quality of IKM products pan by providing heat treatment to aluminum alloy as a frying pan material. The treatment process given is aging (age hardening) with the aim that the alloy has an increase in tensile strength, hardness, ductility and changes the microstructure into finer grains. The material used in this research is aluminum alloy Al-Si-Cu with different levels of Cu ranging from 2%, 4% and 6%. The aging is carried out in the first stage, namely heating at a temperature of 525 °C for 1 hour, followed by cooling in water media. Then the Al-Si-Cu alloy was reheated at a temperature of 195°C for 5 hours and then cooled in air. The tests carried out were microstructure test using an optical microscope, Brinell test, tensile test and impact test using the Charpy. The microstructure shows that the Al-Si-Cu alloy has Al, Si and CuAl₂. The highest hardness value was found aging addition of 4% Cu at 21.63 BHN. The tensile test results show that the highest stress value occurs in the 4% Cu alloy with aging of 18.93 MPa and strain value of 0.94%. Impact testing resulted in the highest impact value on raw material with 2% Cu content of 0.007 J/mm².

Keyword : Al-Si-Cu Alloy, IKM product pan, Aging, Hardness, Tensile strength

1. PENDAHULUAN

Penambahan Cu pada paduan Al-Si-Cu dapat meningkatkan kekuatan paduan tersebut karena pengaruhnya terhadap perilaku pengendapan aluminium selama pengerasan usia. Tegangan luluh, kekerasan dan kekerasan mikro meningkat dengan peningkatan kandungan Cu terlepas dari komposisi paduan [6]. Penambahan Cu pada paduan aluminium memperbaiki kekuatan dan kekerasan hasil coran tanpa dan dengan perlakuan panas. Penambahan 4-6% Cu sangat kuat terhadap respon untuk dilakukan *heat treatment*. Penambahan Cu umumnya mengurangi ketahanan terhadap serangan korosi, pada kondisi tertentu dan material tertentu sangat peka terhadap serangan korosi tegangan. Penambahan Cu juga mengurangi ketahanan terhadap retak panas (*hot tearing*) dan mengurangi mampu cor (*castability*) [4]. Penambahan unsur Cu pada paduan Al-Si sebesar 7%, dan 9% bentuk morfologi dari partikel Si dimana mengalami perubahan yang semula berbentuk platlike berubah menjadi blocklike sehingga mempengaruhi sifat mekaniknya meningkat [15]. Seiring bertambahnya variasi Cu memiliki nilai kekerasan yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena ukuran butir menjadi lebih kecil. Dimana jarak antar butir kristal semakin rapat dan tidak mudah terjadi dislokasi dan kekerasannya akan meningkat [11]. Proses *solution treatment* dan *aging* sangat signifikan meningkatkan nilai kekerasan pada paduan Al-Si-Cu [10]. Penambahan Cu ke dalam paduan

eutektik Al-Si meningkatkan mampu alir logam cair dan menurunkan temperatur eutektik Si sekitar $\sim 1,8$ °C untuk setiap 1 wt. % Cu yang ditambahkan. Semakin tinggi kadar tembaga maka makin banyak fasa yang terbentuk, sehingga kekerasan dan kekuatan paduan akan meningkat. Selain itu, peningkatan komposisi tembaga di dalam paduan Al-Si-Cu dapat juga meningkatkan sifat ketahanan korosi dan sifat ketahanan aus [2]. Waktu aging (pada temperatur 180°C) selama 8 jam dan temperatur aging (selama 5 jam) pada 180oC merupakan waktu yang paling optimum untuk memperoleh kombinasi yang terbaik dari distribusi fase, yang tersebar merata dalam matrik kaya Al, dan ukuran dari masing-masing fase sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tertinggi [22]. Pada penelitian ini akan dilakukan penambahan kadar Cu sebesar 2%, 4% dan 6% serta diberikan perlakuan *Aging*. Diharapkan dari proses dapat menghasilkan paduan Al-Si-Cu yang terbaik dengan meningkatnya kekuatan, kekerasan dan keuletan dan bahan spesimen yang akan diuji.

2. METODE PENELITIAN

Bahan Yang digunakan dalam penelitian ini adalah ingot alumunium paduan Al-Si-Cu dengan kadar Cu sebesar 2%, 4% dan 6% dengan ukuran 17,5 x 4 x 1,5. Setelah itu dilakukan proses pembuatan spesimen uji sebanyak 6 buah spesimen uji kekerasan, 6 buah spesimen uji tarik dan 6 buah spesimen uji dampak dengan ukuran yang telah disesuaikan dengan standar pengujian. Spesimen akan dilakukan proses perlakuan panas *solution heat treatment* dengan pemanasan pada temperatur 525°C selama 1 jam, kemudian dilakukan *quenching* dengan media air. Dilanjutkan pada proses *aging* pada temperatur 195°C dengan waktu penahanan selama 5 jam. Kemudian sampel di dinginkan diudara. Setelah itu dilakukan sturktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik, pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell*, pengujian tarik dan pengujian dampak dengan metode *Charpy*.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1. Analisis Hasil Uji Komposisi Kimia

Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa ingot alumunium dari IKM wajan sebelum dilakukan pengecoran tersusun atas unsur utama yaitu alumunium (Al) 80,96%, zeng (Zn) 9,90%, Silikon (Si) 5,32% dan tembaga (Cu) 1,55 %. Hasil setelah dilakukan pengecoran dengan penambahan Cu sebesar 2%, 4%, 6% dapat dilihat pada tabel 1. Hasil yang didapatkan yaitu Cu pada penambahan 2% dan 4% masih belum mendekati target yang diharapkan yang dapat dipengaruhi oleh pengadukan coran yang kurang merata hingga tertinggalnya hasil coran pada tungku peleburan, namun berbeda dengan penambahan 6% yang sudah bisa dikatakan mendekati sempurna yaitu sebesar 7,51%.

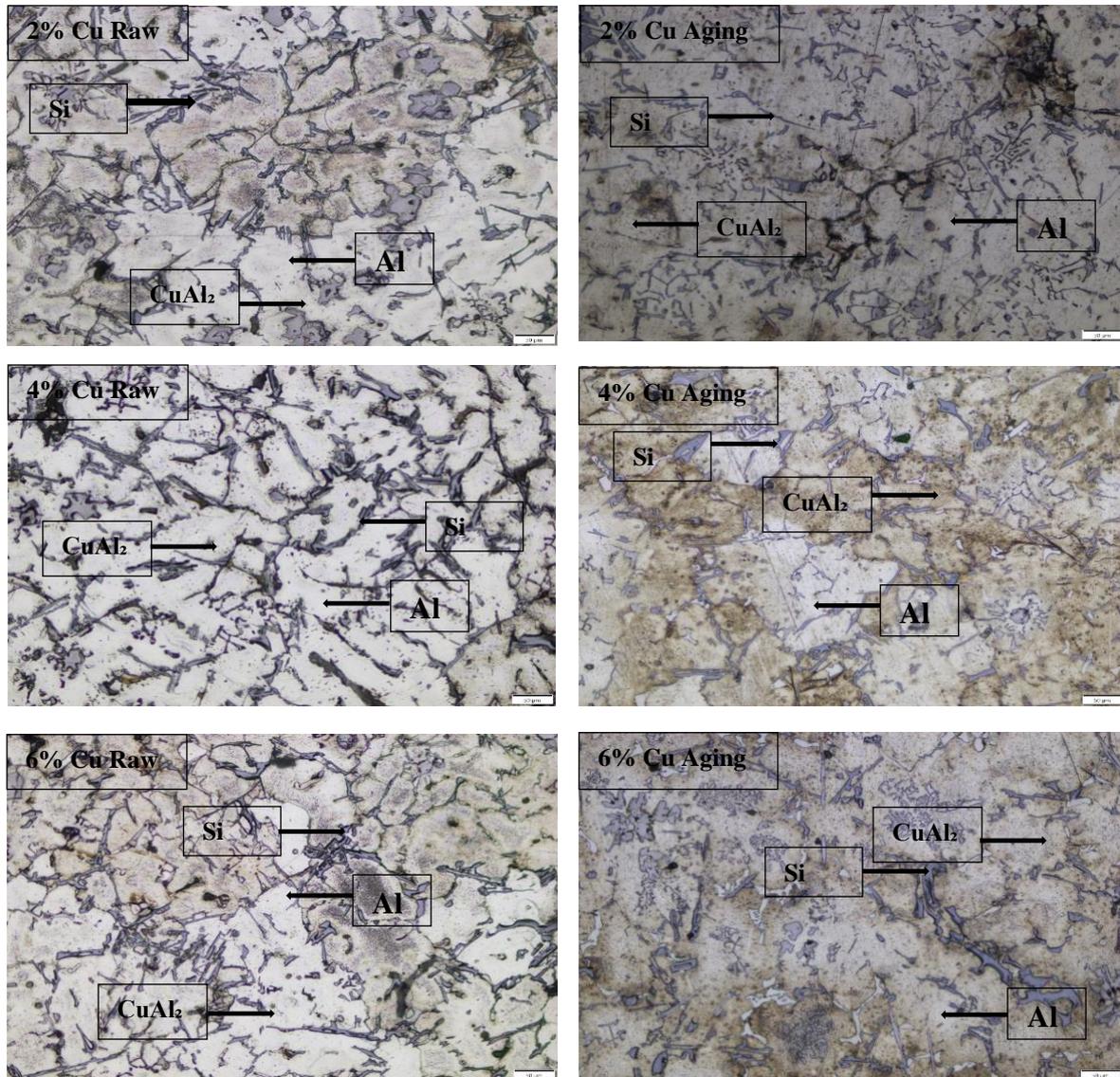
Tabel 1. Hasil uji komposisi kimia

% berat	Unsur											
	Al	Zn	Si	Cu	Fe	Pb	Mn	Ni	Sn	Ti	Cr	Mg
2%	80,33	8,82	5,39	3,30	1,11	0,72	0,12	0,12	0,03	0,03	0,02	0,01
4%	78,45	9,84	4,68	4,94	1,02	0,79	0,12	0,08	0,03	0,03	0,01	-
6%	75,35	10,02	4,74	7,51	1,39	0,63	0,18	0,08	0,03	0,02	0,03	-

Pengaruh Cu pada paduan Al-Si-Cu mampu memberikan peningkatan pada kekuatan, kekerasan, keuletan dan struktur mikro memperlihatkan butiran pada paduan mengalami peningkatan jumlah butir dan semakin rapat. Penambahan Kadar Cu juga menjadi solusi agar paduan alumunium dapat dipergunakan lebih banyak dan dipilih menjadi bahan pembentuk utama dalam bidang industri khususnya IKM wajan.

3.2. Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 200x pada 3 spesimen *raw material* dan 3 spesimen *aging*.

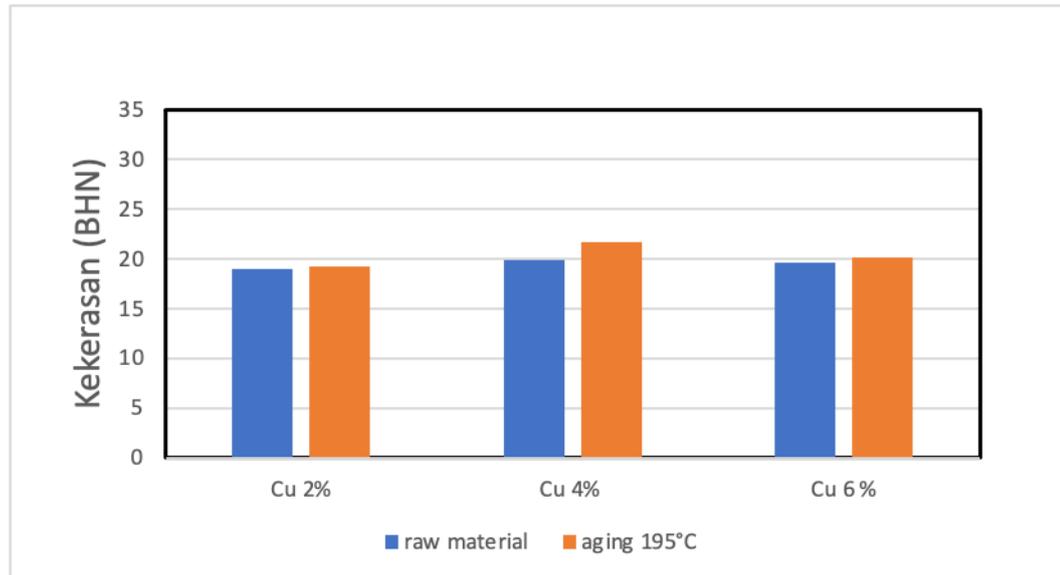


Gambar 1 Struktur Mikro tanpa perlakuan (*raw material*) dan setelah proses penuaan *aging*

Hasil struktur mikro paduan Al-Si-Cu menunjukkan 3 fasa yang terbentuk yaitu fasa Al, Si dan CuAl₂. Pada spesimen 2% *raw material* memperlihatkan fasa Al lebih dominan dengan warna terang dan butiran relative besar, sedangkan fasa Si berwarna kelabu terang dengan pola bercabang berbeda dengan spesimen setelah diberikan perlakuan *aging* menunjukkan perubahan pada fasa Si yang membentuk pola koloni dan bercabang, Fasa CuAl₂ lebih terlihat jelas berwarna hitam gelap. Untuk spesimen *raw material* 4% Cu terlihat fasa Si membentuk pola plat patah, sebagian seperti kristal bercabang, fasa CuAl₂ masih terlihat samar dan fasa Al lebih dominan dengan warna putih terang. Namun hal yang berbeda terlihat setelah mendapat perlakuan *aging*, Fasa Si membentuk pola sebar acak dan berkoloni tersebar di sekitar Fasa Al dan Fasa CuAl₂ lebih jelas terlihat dan semakin meningkat untuk jumlah butirannya. Pada spesimen akhir yaitu 6% *raw material* fasa Si terlihat bercabang dan lebih berjarak, Fasa CuAl₂ masih samar untuk dapat dilihat. Setelah dilakukan *Aging* pada spesimen 6% Cu, terjadi perubahan yang signifikan pada fasa Si yang membentuk pola granul, koloni tersebar lebih melebar dan lebih rapat, Fasa CuAl₂ lebih banyak terlihat seperti titik-bintik hitam kecil yang lebih banyak jumlah butirannya. Dapat disimpulkan bahwa pengaruh

aging membuat fasa Si dan CuAl_2 mengalami perubahan yang signifikan dari bentuk dan jumlah dari butiran fasa.

3.2. Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

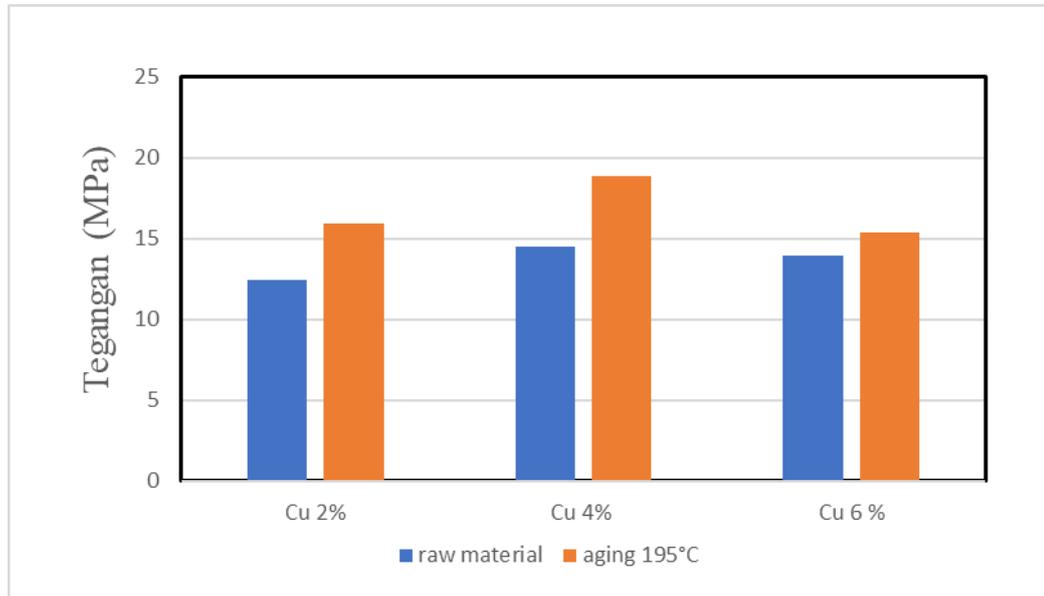


Gambar 2 Diagram rata-rata pengujian kekerasan paduan Al-Si-Cu

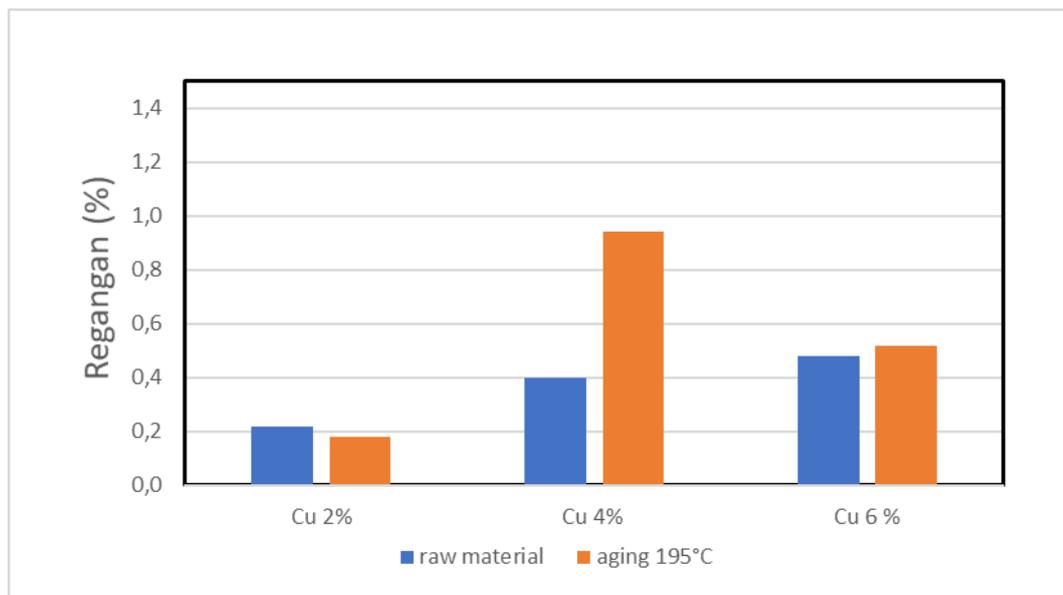
Pengujian kekerasan dengan menggunakan metode *Brinell* dengan beban 40 kgf, setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik yang diatur secara berurutan. Berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji dari paduan Al-Si-Cu diperoleh harga kekerasan tertinggi pada perlakuan *aging* 4% Cu dengan angka kekerasan yaitu sebesar 21,636 kg/mm². Spesimen dengan perlakuan *aging* temperatur 195°C yang dibandingkan dengan spesimen *raw material* dengan komposisi sama sebesar 4% Cu mengalami peningkatan mengalami sebesar 7,9% penyebabnya kenaikan nilai kekerasan ini karena perlakuan *aging* yang menyebabkan perubahan bentuk struktur fasa CuAl_2 dan fasa Si yang lebih merata, dengan struktur butiran lebih kecil (halus) dan jarak antar butiran yang lebih rapat. Dapat dilihat juga bahwa spesimen tanpa perlakuan dengan kadar Cu 2 % memiliki nilai kekerasan sebesar 18,916 kg/mm² dibandingkan setelah mendapatkan perlakuan *aging* spesimen memiliki kekerasan sebesar 19,254 kg/mm² dan mengalami kenaikan kekerasan sebesar 1,8% hal ini dapat juga dilihat dari struktur mikro dimana pada spesimen *raw material* fasa CuAl_2 tidak terlihat jelas dan lebih berjarak dan pada spesimen pada spesimen *aging* terlihat jelas fasa CuAl_2 dan lebih rapat butirannya. Selanjutnya spesimen *raw material* dengan kadar Cu 6% menunjukkan angka kekerasan sebesar 19,651 kg/mm² yang dibandingkan dengan spesimen dengan perlakuan *aging* mendapatkan kekerasan sebesar 20,127 kg/mm² dan mengalami kenaikan sebesar 2,3% dari spesimen yang mendapatkan perlakuan *aging* hal ini dipengaruhi oleh fasa Si yang bercabang serta butirannya membesar dan fasa CuAl_2 yang lebih banyak tersebar diantara fasa Al.

Berdasarkan data yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa perlakuan *aging* pada spesimen Al-Si-Cu berpengaruh pada peningkatan kekerasan. Dimana nilai kekerasan terendah berada pada *raw material* 2% Cu sebesar 18,916 kg/mm² sedangkan nilai tertinggi berada pada *aging* dengan komposisi 4% sebesar 21,636 kg/mm² dan jika dibandingkan dengan spesimen *aging* dengan kadar Cu 6% mengalami penurunan yang memastikan bahwa penambahan kadar Cu belum tentu dapat meningkatkan kekerasan dari spesimen yang diuji.

3.3. Analisis Hasil Pengujian Tarik



Gambar 3 Diagram pengujian Tarik paduan Al-Si-Cu



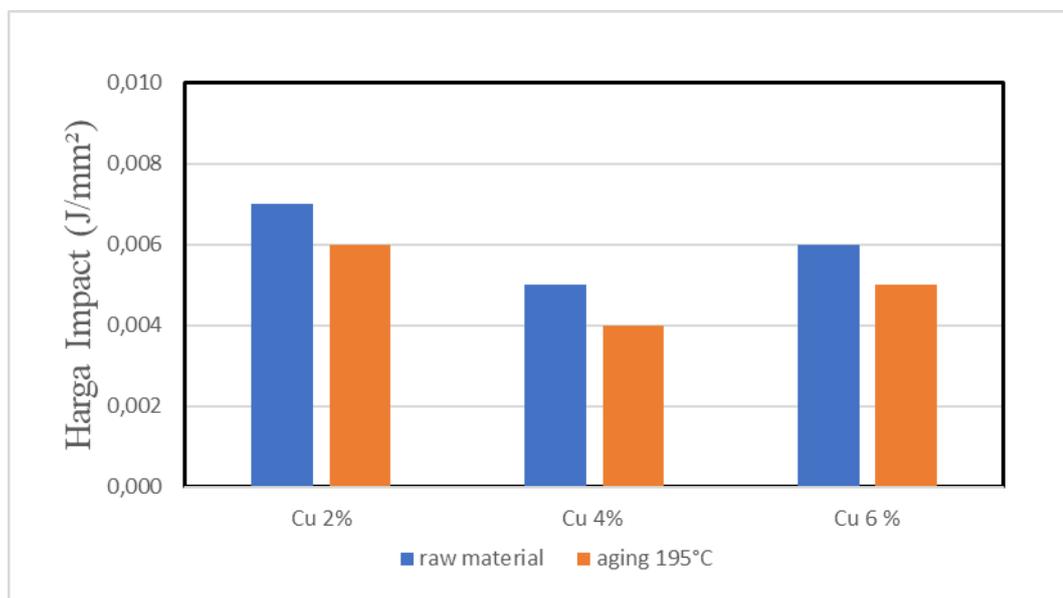
Gambar 4 Diagram pengujian regangan paduan Al-Si-Cu

Hasil dari pengujian tarik untuk spesimen *raw material* dengan kadar Cu 2% diperoleh nilai tegangan tarik sebesar 12,48 MPa dan nilai regangan sebesar 0,22. Hasil pengujian tarik pada spesimen *aging* dengan kadar Cu 2% menunjukkan nilai tegangan sebesar 15,96 MPa dengan nilai regangan 0,18%, nilai tegangan mengalami kenaikan sebesar 27,6% dan nilai regangan mengalami penurunan sebesar 18% dibandingkan spesimen *raw material* 2% Cu. Berikutnya pada spesimen *raw material* dengan kadar Cu 4%, menunjukkan nilai tegangan sebesar 14,81 MPa dan nilai regangan 0,40% setelah mengalami proses *aging* nilai tegangan yang didapat sebesar 18,93% dan telah mengalami kenaikan sebesar 30,6% begitu juga dengan regangan yang mengalami kenaikan sebesar 57,4% dibandingkan dengan spesimen yang telah mendapatkan perlakuan *aging* hal ini diperkuat dari hasil struktur mikro yang menunjukkan adanya perubahan signifikan pada fasa Si yang sebelumnya berbentuk bulat acak setelah mendapat perlakuan *aging* menjadi seperti plat, bercabang dan berjarak setiap butiran. Fasa CuAl_2 terlihat butirannya bertambah banyak seiring penambahan kadar Cu. Berikutnya spesimen *raw material* dengan kadar Cu 6% menunjukkan nilai tegangan 13,92 MPa dan nilai regangan sebesar 0,48%, nilai tegangan Tarik setelah mendapatkan perlakuan *aging* naik sebesar

14,11% menjadi 15,37 MPa dan nilai regangan naik sebesar 7,7% seiring dengan perubahan fasa Si dari struktur mikro pada spesimen *raw* yang sebelumnya berbentuk cabang seperti plat patah dan tersebar secara acak namun setelah mendapat perlakuan *aging* berubah seperti koloni berbentuk bulatan dan juga fasa CuAl_2 yang bertambah banyak tersebar merata yang membuat peningkatan kekuatan tarik.

Berdasarkan hasil dari pengujian tegangan tarik menunjukkan nilai tertinggi terjadi pada spesimen *aging* 195°C dengan kadar Cu 4% sebesar 18,93 Mpa dan terendah pada spesimen *raw material* kadar Cu 2% sebesar 12,48 MPa, sedangkan pada regangan nilai tertinggi didapat pada spesimen *aging* 195°C kadar Cu 4% dengan nilai 0,94% sedangkan yang terendah pada spesimen *aging* 195°C kadar Cu 2% sebesar 0,18% . Sehingga dapat disimpulkan bahwa perlakuan *aging* dapat meningkatkan tegangan tarik terhadap aluminium paduan Al-Si-Cu. Pada nilai regangan mendapatkan hasil yang berbeda dimana proses *aging* pada kadar Cu 2% menyebabkan regangan turun sebaliknya untuk 4% dan 6% Cu dengan perlakuan sama menyebabkan regangan naik jika dibandingkan dengan spesimen *raw material* yang berarti perlakuan *aging* belum tentu dapat meningkatkan regangan paduan Al-Si-Cu.

3.3. Analisis Hasil Pengujian Impak



Gambar 5 Diagram pengujian impak paduan Al-Si-Cu

Hasil perhitungan pengujian impak pada spesimen Al-Si-Cu *raw material* dengan kadar Cu 2% menunjukkan harga impak sebesar $0,007 \text{ J/mm}^2$. Kemudian untuk spesimen yang telah mengalami perlakuan *Aging* menunjukkan harga impak $0,006 \text{ J/mm}^2$ hal ini menunjukkan bahwa setelah spesimen mendapat perlakuan *aging* mengalami penurunan harga impak sebesar 14,2 % hal ini disebabkan oleh fasa Al pada proses *aging* lebih dominan dan fasa CuAl_2 terlihat butirannya lebih besar dari spesimen *raw*. Berikutnya untuk spesimen *raw material* dengan jumlah kadar Cu 4% menunjukkan harga impak sebesar $0,005 \text{ J/mm}^2$. Dimana spesimen *raw material* ini mengalami kenaikan harga impak sebesar 20 % jika dibandingkan dengan spesimen *aging* pada suhu 195°C yang hanya mendapatkan harga impak sebesar $0,004 \text{ J/mm}^2$ hal itu diperkuat juga dari hasil struktur mikro *aging* pada fasa Si terlihat acak dan butirannya lebih berjarak serta fasa CuAl_2 memiliki butir yang besar. Kemudian pada spesimen *raw material* dengan kadar Cu 6% yang telah diperhitungkan mendapatkan harga impak sebesar $0,006 \text{ J/mm}^2$, jika dibandingkan dengan spesimen *aging* dengan kadar Cu harga impaknya mengalami penurunan sebesar 16,6% ketika material diproses atau diberikan perlakuan *aging* 195°C . dari data yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa harga impak tertinggi terdapat pada *raw material* kadar Cu 2% sebesar $0,007 \text{ J/mm}^2$ yang dipengaruhi oleh pembentukan fasa Si yang lebih dominan menyebar dan lebih rapat menyebabkan meningkatnya kekerasan. Berdasarkan hasil pengujian dari *raw material* 2%, 4% dan 6% memiliki harga impak yang lebih tinggi daripada setelah dilakukan *aging* yang berarti perlakuan *aging* akan menyebabkan bertambahnya tingkat *ductile* dari aluminium dan menurunkan harga impak dari spesimen tersebut.

4. KESIMPULAN

1. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa paduan Al-Si-Cu dengan penambahan 2% Cu menghasilkan kadar Tembaga (Cu) sebesar 3,3%. Pada penambahan 4% Cu, setelah dilakukan pengecoran menghasilkan kadar Tembaga (Cu) 4,94% dan untuk penambahan 6% menghasilkan kadar Tembaga (Cu) dengan hasil akhir 7,51%. Sehingga Aluminium jenis ini dikategorikan sebagai Aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu.
2. Paduan Al-Si-Cu memiliki fasa Al, Al-Si dan CuAl_2 . Semakin besar jumlah penambahan Cu, fasa Al akan semakin dominan begitu juga dengan fasa CuAl_2 semakin bertambah untuk jumlah butirannya.
3. Hasil uji kekerasan paduan Al-Si-Cu dengan metode *Brinell* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada perlakuan *aging* 4% Cu dengan harga 21,636 kg/mm². Harga kekerasan terendah 18,916 kg/mm² terdapat pada spesimen *raw material* dengan kadar 2% Cu. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya perlakuan *aging* maka dapat mengakibatkan peningkatan kekerasan pada spesimen uji.
4. Hasil uji tarik menunjukkan paduan Al-Si-Cu memiliki nilai tegangan tertinggi pada perlakuan *aging* kadar Cu 4% dengan nilai tegangan sebesar 18,93 MPa dengan nilai regangan 0,94%. Sedangkan nilai tegangan tarik terendah pada *raw material* kadar 2% dengan nilai tegangan sebesar 12,48 MPa dengan nilai regangan 0,22 %.
5. Hasil uji impak tertinggi terdapat pada spesimen *raw material* kadar 2% Cu dengan harga 0,007 j/mm². Sedangkan hasil uji impak terendah 0,004 j/mm² terdapat pada spesimen dengan perlakuan *aging* pada kadar 4% Cu.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta, kedua orang tua, adik, teman-teman HMTM, TrahKawus yang selama ini memberi dukungan dan semangat serta menghiasi perjuangan kuliah saya selama di Yogyakarta sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASM Handbook, 1992, Metallography and Microstructures, Volume 9, ASM International.
- [2]. Anderson, W., Rudianto, H. dan Haryadi, D., 2018, Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si, *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, Vol.23, No.2, Hal. 146–154. doi: 10.35760/tr.2018.v23i2.2464
- [3]. Avner, S. H., 1974, Introduction to Physical Metallurgy. New York: McGraw-Hill International Book Company
- [4]. Davis, J.R., 1993, *ASM Specialty Handbook : Aluminum and Aluminum Alloys*, Edisi 1, ASM International, Ohio, USA.
- [5]. Dieter, G.E., 1988, Metalurgi Mekanik, Ed. 3, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- [6]. Dobrzanski, L.A. & Borek, W. 2006. Influence of the crystallization condition on Al-Si-Cu casting alloys structure. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering*. 18 (1):1-2.
- [7]. Hafni, R. & Ahmad, R., 2015, Analisis usaha mikro, kecil dan menengah (UMKM) terhadap penyerapan tenaga kerja di Indonesia. *Jurnal Ekonomikawan*. 15 (2):77-96.
- [8]. Lawrence H., dan Van Vlack., 1992, Ilmu Dan Teknologi Bahan edisi kelima, Erlangga, Jakarta.
- [9]. Majanasstra, R.B.S., 2015, Pengaruh Variable Waktu (Aging Heat Treatment) Terhadap Peningkatan Kekerasan Permukaan Dan Struktur Mikro, *Ilmiah Teknik Mesin*, Vol.3, No.2, Hal. 87–101.
- [10]. Mizhar, S., 2016, Pengaruh Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Aluminium Paduan Al-Si-Cu Pada Cylinder Head Sepeda Motor, *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*, Vol.3, No.1, Hal. 9–15.
- [11]. Pandhu Madyantoro Ardi, A.P.B., 2016, Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Material Chassis Berbahan Dasar Limbah Aluminium Hasil Pengecoran Hpdc Yang Disertai Perlakuan Panas (Heat Treatment), *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 4, No.1, Hal. 42–47.
- [12]. Prayitno, D. dan Fitri Azhary Apriandini., 2020, Pengaruh Waktu Tahan Pada Proses Artificial Aging Terhadap Mikrostruktur Paduan Al-Sn-Cu., *Jurnal Penelitian dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, Vol.5, No.2, Hal. 23–30.
- [13]. Schonmetz, S. & Reiter, H., 1990, Pengerjaan Logam dengan Mesin, Angkasa, Bandung.
- [14]. Sofyan, B.T.S.T., Susanti, S. and Yusfranto, R.R., 2010 PERAN 1 DAN 9 wt. % Zn DALAM PROSES Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319, *MAKARA of Technology Series*, Vol.12, No.1, Hal. 48–54. doi:10.7454/mst.v12i1.523.
- [15]. Suherman., 2016, 'Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga (Cu) Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Material Chassis Berbahan Dasar Limbah Aluminium Hasil Pengecoran Hpdc Yang Disertai Perlakuan Panas (Heat Treatment)', *Jurnal Teknik Mesin*, Vol.4, No.1, Hal. 42–47.
- [16]. Sultan, A.Z. and Hamzah, N., 2019, Pengaruh Solution Treatment Dan Artificial Aging Terhadap Sifat Mekanis

- Dan Struktur Mikro Paduan Aluminium A383, *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2019, Hal. 68–77.
- [17]. Surdia, T., dan Chijiwa, K., 2013, *Teknik Pengecoran Logam* Ed. 10, PT. Balai Pustaka (Persero), Jakarta.
- [18]. Surdia, T., dan Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Ed. 4, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [19]. Syahputra, S., 2014, Pengaruh Penambahan Cu Dan Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan a356, *Jurnal Dinamis*, Vol.2, No.14, Hal. 39–45.
- [20]. Tjokorda, P. and Tirta, G.D.E., 2017, *Buku Ajar Teknik Pengecoran Logam Bukan Besi*.
- [21]. Ulfiyah, L. and Fathorrozi, M., 2020, Analisis Paduan Al Dan Cu Untuk Meterial Chassis Kendaraan, *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, Vol.7 No.1, Hal. 17–22. doi: 10.34128/je.v7i1.112.
- [22]. Zulfia, A., Juwita, R., Uliana, A., Jujur, N. dan Raharjo, J., 2010, Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol.12, Hal.1, Hal. 13–20. doi: 10.9744/jtm.12.1.13-20.
- [23]. Suherman & Ridwan, 2020, Effect of Cu Addition on Microstructure, Hardness and Fluidity of Aluminium Alloy Al-10Si, *Regional Development Industry & Health Science, Technology and Art of Life*, Hal.108-115.