

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR CU PADA INGOT BAHAN WAJAN PRODUK IKM TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN, KEAUSAN, DAN KETAHANAN KOROSI

Alfian Wahyu Nugroho¹, Ratna Kartikasari^{2,*}, Angger Bagus Prasetyo³

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

Jl. Babarsari, Tambak Bayan, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta

*Corresponding author: ratna@itny.ac.id,

Abstract

Aluminum is the main ingredient for making small frying pans for IKM products in the Special Region of Yogyakarta. One of the efforts to improve the quality of the frying pans for IKM products is to modify the aluminum alloy as a frying pan material, one of the efforts is to add the element Cu to the aluminum ingots of the frying pan. This study aims to determine the effect of adding Cu to the aluminum ingots of IKM frying pans on the microstructure, the value of hardness, wear, and corrosion resistance. The materials used in this study were aluminum and copper ingots in the form of sheets. The smelting process was carried out using a crucible furnace, with variations in the composition of Cu from 2%, 4% and, 6%. The tests carried out are microstructure test, hardness test, wear test, and corrosion resistance test. The results of the microstructure test show that the resulting castings have the structure of Al, Si, CuAl₂ where the increasing Cu content, the more dominant structure is CuAl₂. Where the value of the highest hardness test results occurred in 4% specimens of 19.6 BHN. The results of the wear test showed that the highest wear resistance value was in the 4% specimen at 0.00039 mm³/kg.m. Meanwhile, in the corrosion resistance test, the highest corrosion resistance value was found in the 4% specimen, which was 0.19 mmpy.

Keywords: IKM product pan, Cu element, material testing.

Abstrak

Aluminium merupakan bahan utama pembuatan pada wajan produk IKM yang berada di Daerah Istimewa Yogyakarta. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas wajan produk IKM adalah dengan memodifikasi paduan aluminium sebagai bahan wajan, salah satu upaya yang dilakukan dengan menambahkan unsur Cu pada ingot aluminium bahan wajan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Cu pada ingot aluminium bahan wajan produk IKM terhadap struktur mikro, nilai kekerasan, keausan, dan ketahanan korosi yang dihasilkan. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah ingot aluminium dan tembaga berbentuk lembaran. Proses peleburan dilakukan menggunakan dapur krusible, dengan variasi komposisi Cu dari 2%, 4% dan, 6%. Pengujian yang dilakukan adalah uji struktur mikro, uji kekerasan, uji keausan, dan uji ketahanan korosi. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa coran yang dihasilkan memiliki struktur Al, Si, CuAl₂ dimana semakin meningkat kadar Cu struktur lebih dominan yaitu CuAl₂. Dimana nilai hasil uji kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen 4% sebesar 19,6 BHN. Hasil uji keausan didapatkan nilai ketahanan aus paling tinggi

pada spesimen 4% sebesar 0,00039 mm³/kg.m. Sedangkan pada uji ketahanan korosi nilai ketahanan korosi paling tinggi pada spesimen 4% sebesar 0,19 mmpy.

Kata kunci: IKM product pan, Cu element, material testing.

PENDAHULUAN

Aluminium ditemukan pertama kali sebagai suatu unsur pada tahun 1809 oleh Sir Humphrey dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Pada industri tahun 1886, Paul Heroul di Prancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah menemukan logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garamnya yang terfusi (Surdia dan Saito, 1985). Zainun dan Ahmad Sony Setiawan (2017) mengatakan bahwa baja pada suhu rendah rapuh, dalam suhu tinggi kekuatannya meningkat, sebaliknya pada aluminium dalam suhu rendah memiliki kekuatan tinggi dan pada suhu tinggi kekuatannya melemah. Aluminium memiliki titik cair sebesar 658°C. Ditambahkan oleh Ulfiyah (2020) aluminium termasuk golongan IIIA nomor 13 dan termasuk material yang tahan terhadap karat. Soeparno (2014) menjelaskan bahwa aluminium memiliki sifat yang ringan dan tahan terhadap korosi, mudah diproduksi dan ekonomis. Namun hal tersebut memiliki kekurangan yaitu dijelaskan oleh Suryasa (2016) yaitu aluminium murni terlalu lunak sehingga tidak dapat digunakan untuk kebutuhan teknik maupun industri, dengan menambahkan Cu dapat memperbaiki kekerasan, namun keuletan dan korosinya menurun.

Eko dan Soepomo (2014) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa semakin tinggi penambahan unsur Cu pada aluminium maka nilai kekerasannya akan semakin meningkat. Pada hasil pengujian struktur mikro paduan Cu dengan aluminium akan mempermudah terbentuknya struktur butir pada material. Dobrzanski (2006) menyebutkan bahwa dengan penambahan Cu pada paduan Al-Si akan meningkatkan kekuatan paduan tersebut karena pengaruhnya terhadap perilaku pada pengendapan aluminium semala pengerasan panas. Ardi (2016) pada penelitiannya menyebutkan Seiring dengan penambahan unsur Cu pada hasil pengujian dapat diketahui bahwa maka nilai kekerasan akan meningkat hal ini karena ukuran butir menjadi lebih kecil dan jarak antara butir kristal semakin rapat dan tidak mudah terjadi dislokasi dan kekerasannya akan meningkat. Shodiqi (2016) yang mengatakan penambahan Cu dari 15% ke 32% dalam Al meningkatkan porositas as cast yang berdampak pada penurunan kekerasan.

Djiwo dan aladin (2014) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa variasi Cu (1%, 3%, 5%) pada aluminium paduan Al-Cu mengakibatkan adanya perubahan yang dapat mempengaruhi kekerasan dan struktur mikro pada paduan tersebut. Dari hasil pengujian kekerasan semakin tinggi variasi Cu pada aluminium maka nilai kekerasan akan semakin meningkat. Davis (1993) menyebutkan bahwa Penambahan 4-6% Cu sangat kuat terhadap respon untuk dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*). Penambahan Cu pada 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*).

Penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas wajan produk IKM dengan cara menambahkan paduan pada aluminium sebagai bahan wajan. Modifikasi bahan dilakukan dengan cara pepaduan unsur Cu ke dalam ingot aluminium yang merupakan bahan dasar pembuatan wajan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan sifat kimia, mekanik dan *performance* wajan produk IKM.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan bahan baku pengecoran yang berupa ingot aluminium dan tembaga, dimana ingot aluminium diambil langsung dari IKM dan tembaga berupa lembaran yang dijual dipasaran. Proses pengecoran ini dilakukan di Polman, Ceper, Klaten dengan menggunakan dapur Krusible dengan penambahan 3 variasi Cu yaitu variasi Cu

2%, 4%, dan 6%. Hasil pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir dalam bentuk ingot berukuran 200 mm x 30 mm x 20 mm.



Gambar 1. Ingot aluminium

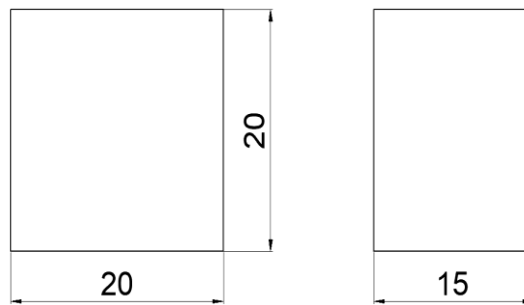


Gambar 2. Lembaran tembaga



Gambar 3. Proses pengecoran

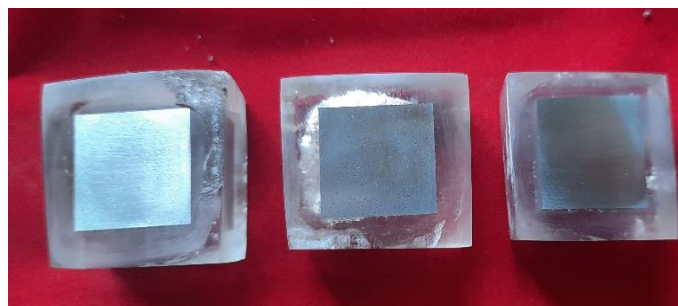
Setelah proses pengecoran dilakukan selanjutnya pembuatan spesimen uji. Pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian struktur mikro, pengujian kekerasan, pengujian keausan, dan pengujian ketahanan korosi. Proses pengujian dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada



Gambar 4. Spesimen uji kekerasan



Gambar 5. Spesimen pengujian struktur mikor, kekerasan, keausan



Gambar 6. Spesimen pengujian ketahanan korosi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur – unsur yang terkandung didalam spesimen benda uji. Alat yang digunakan dalam pengujian komposisi kimia adalah *spectrometer*. Berikut ini hasil dari pengujian komposisi kimia, ditunjukkan pada Tabel 1.

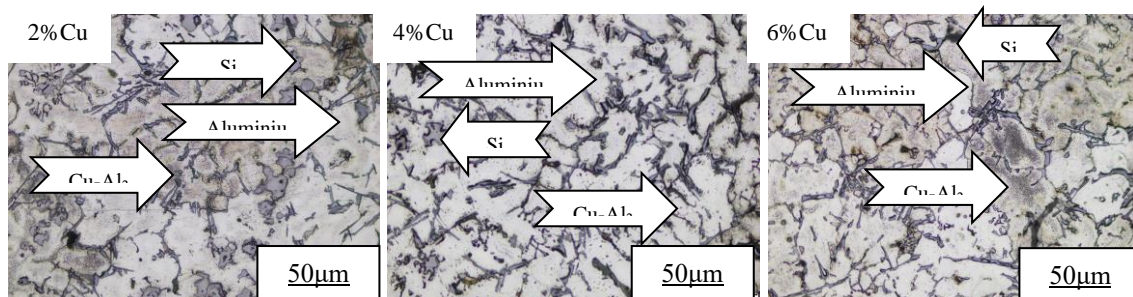
Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia.

Berat (%)	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	0,02	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	-

Hasil dari pengujian komposisi kimia pada ingot dari IKM wajan di kelurahan umbulharjo menunjukkan bahwa ingot Al memiliki kadar unsur utama aluminium (Al) 80,96%, seng (Zn) 9,9%, silikon (Si) 5,32%, tembaga (Cu) 1,56%, besi (Fe) 1,13%. Hasil uji komposisi kimia paduan dengan penambahan 2% Cu menunjukkan bahwa terjadi perubahan tembaga yang semula 1,56% sekarang menjadi 3,30%. Penambahan unsur Cu sebanyak 4% menunjukkan pengurangan unsur aluminium sebesar 2,51%. Untuk penambahan Cu sendiri bertambah sebanyak 4,94%, kehilangan Cu sebanyak 0,62%. Penambahan unsur Cu sebanyak 6% menunjukkan pengurangan aluminium sebesar 5,61% dan penambahan Cu sebanyak 6% menjadi 7,51%, kehilangan Cu sebanyak 0,05%. Dari data hasil pengujian komposisi kimiamaka dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Cu sebanyak 2%, 4%, 6% dapat dikategorikan paduan Al-Zn-Si-Cu. Kadar yang tidak mencapai target disebabkan karena Cu yang ditambahkan tidak menyebar secara homogen.

Analisis Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui bentuk dari struktur pada permukaan spesimen aluminium paduan dengan masing-masing kadar Cu 2%, 4%, dan 6%. Pada pengujian struktur mikro alat yang digunakan adalah mikroskop optik dengan pembesaran optik 200 kali.



Gambar 7. Struktur mikro paduan Al-Zn-Si-Cu perbesaran 200x

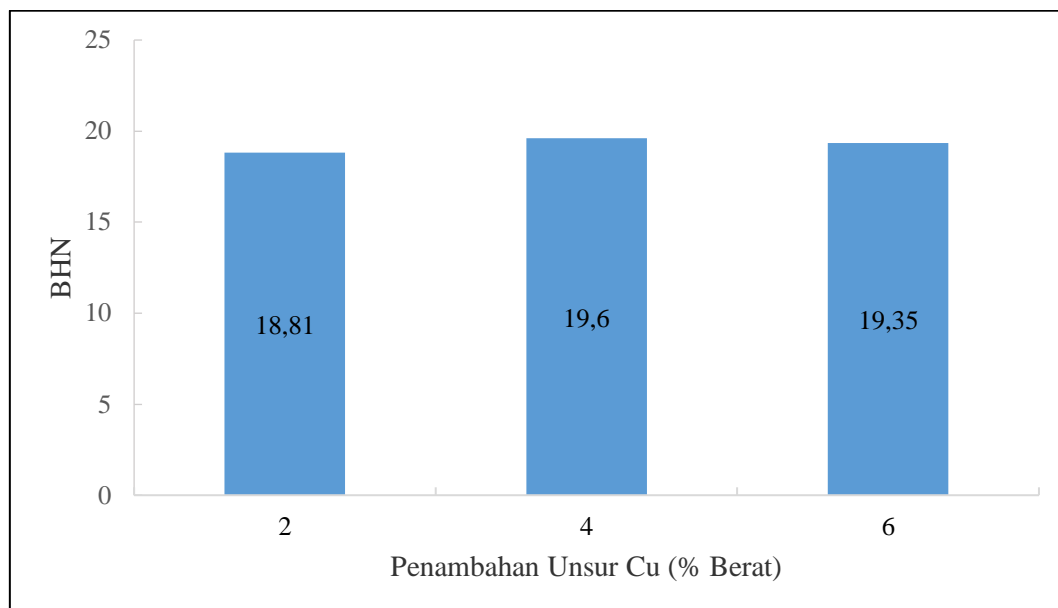
Bedasarkan pada hasil uji struktur mikro pembesaran 200 kali pada Gambar 4 menghasilkan tiga fasa yaitu fasa Al, fasa AlSi, dan fasa CuAl₂. Dimana mengalami perubahan struktur pada penambahan Cu 2% terlihat fasa Al terlihat ukuran butiran besar dan fasa Si terlihat butiran berbentuk bulatan-bulatan dan fasa CuAl₂ butirannya berukuran kecil. Komposisi Cu 4% terlihat fasa Al terlihat ukuran butiran terlihat lebih lebih kecil dan fasa Si terlihat butiran berbentuk memanjang sedangkan fasa CuAl₂ terlihat semakin banyak. Pada komposisi Cu 6% terlihat fasa Al terlihat ukuran butiran semakin mengecil dan fasa Si terlihat butiran terlihat berbentuk memanjang sedangkan fasa CuAl₂ butirannya semakin banyak dominan dan menyebar merata.

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan pengujian metode *Brinell* dengan menggunakan beban 40 kg. Pada permukaan spesimen aluminium paduan dengan masing-masing kadar Cu 2%, 4%, dan 6% dengan masing-masing spesimen 3 titik pengujian.

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan *Brinell*

Variasi Perlakuan	Titik Uji	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	d4 (mm)	d rata-rata	Kekerasan (BHN)	Kekerasan rata-rata (BHN)
2%	1	1,59	1,57	1,55	1,58	1,57	18,53	18,81
	2	1,55	1,54	1,55	1,59	1,56	18,69	
	3	1,62	1,51	1,49	1,56	1,54	19,23	
4%	1	1,53	1,53	1,5	1,51	1,52	19,6	19,6
	2	1,53	1,5	1,49	1,54	1,52	19,6	
	3	1,57	1,53	1,55	1,51	1,52	19,6	
6%	1	1,55	1,53	1,48	1,54	1,52	19,6	19,35
	2	1,54	1,54	1,48	1,56	1,53	19,23	
	3	1,54	1,54	1,56	1,51	1,53	19,23	



Gambar 8. Diagram Pengujian Kekerasan *Brinell*

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian kekerasan dengan metode *brinell* menggunakan beban 40 kgf, tiap spesimen dilakukan pengujian titik secara berurutan. Masing-masing spesimen diuji pada 3 titik yang dipilih secara acak. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan harga kekerasan pada variasi Cu sebesar 2% dengan nilai rata-rata sebesar 18,81 BHN. Yang selanjutnya pada penambahan variasi Cu sebesar 4% dengan nilai rata-rata kekerasan 19,6 BHN dimana mengalami kenaikan sebesar 20,4%. Kenaikan ini disebabkan karena perubahan struktur pada fasa Al terlihat ukuran butirnya menyebar dengan ukuran butir

yang mengecil dan fasa Si lebih terlihat lebih menyebar sedangkan fasa CuAl_2 terlihat lebih dominan dan banyak. Pada penambahan Cu sebesar 6% dengan nilai rata-rata kekerasan 19,35 BHN dimana mengalami penurunan sebesar 1,27%.

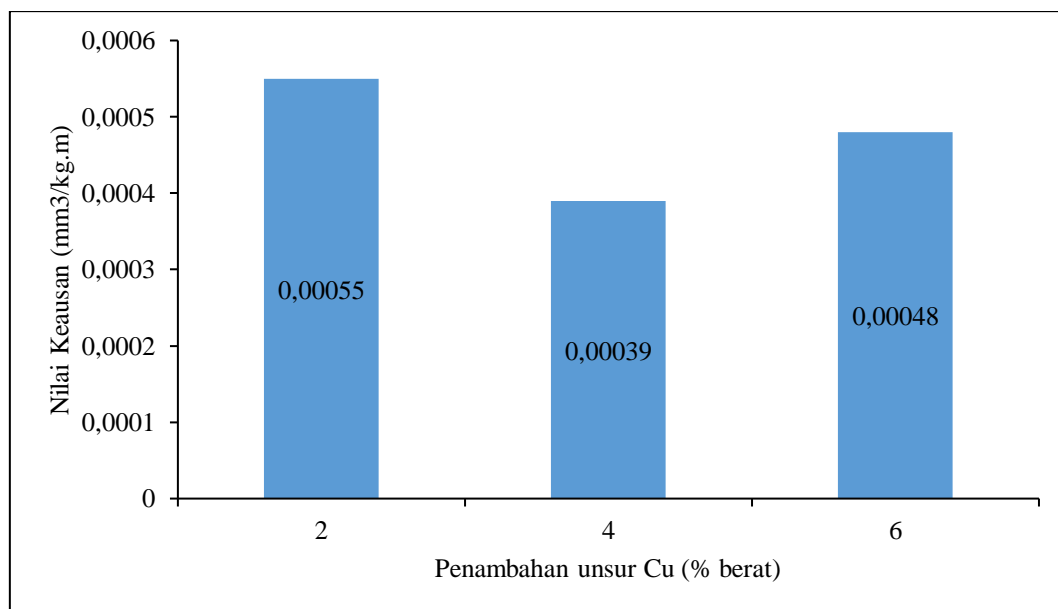
Bedasarkan data yang didapatkan maka dapat disimpulkan bahwa penambahan Cu mempengaruhi nilai kekerasan pada paduan Al-Zn-Si-Cu. Dimana nilai paling rendah pada variasi Cu 2% yaitu 18,81 BHN dan nilai kekerasan yang paling tinggi pada variasi Cu 4% yaitu 19,6 BHN sedangkan variasi Cu 6% mengalami penurunan kekerasan yaitu 19,35%. Penurunan ini disebabkan karena kemungkinan pada saat proses peleburan Cu tidak tercampur secara homogen karena kemungkinan terbentuknya kerak atau sebagainya sehingga Cu yang ditambahkan tidak mendukung terbentuknya CuAl_2 .

Analisis Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan dilakukan menggunakan metode *Ogoshi*, yaitu benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar. Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang ulang yang pada akhirnya mengambil sebagian material pada permukaan benda uji.

Tabel 3. Hasil Pengujian Keausan

Kode Spesimen	Nilai b_0 (mm) Rata-rata	Waktu (menit)	B (mm)	r (mm)	P_0 (kg)	l_0 (m)	Nilai keausan (Ws) ($\text{mm}^3/\text{kg.m}$)
2%	3,035	4,12	3	13,3	2,12	66,6	0,00055
4%	2,695	4,12	3	13,3	2,12	66,6	0,00039
6%	2,887	4,12	3	13,3	2,12	66,6	0,00048



Gambar 9. Diagram Pengujian Keausan

Tabel 3 dan Gambar 8 menunjukkan hasil pengujian keausan dengan metode ogoshi dengan beban 2,12 kg dengan jarak pengausan 66,6 m. Berdasarkan hasil pengujian keausan terhadap spesimen aluminium paduan dengan Cu sebesar 2% didapatkan harga keausan sebesar $0,00055 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$. Selanjutnya pada spesimen aluminium paduan variasi Cu 4% didapatkan harga keausan sebesar $0,00039 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ dimana disini mengalami penurunan sebesar 41%.

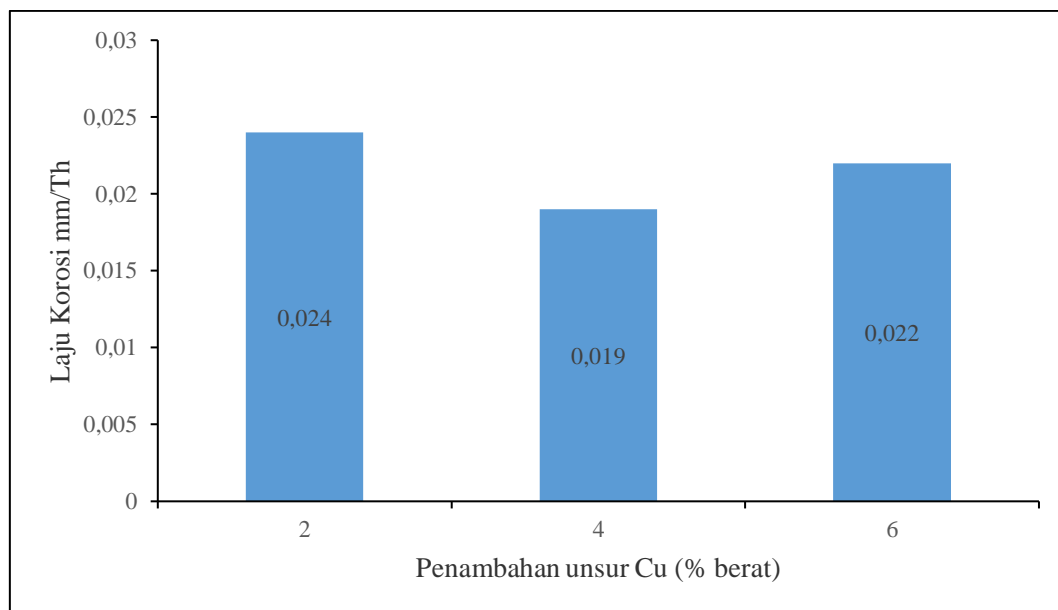
Penurunan ini dikarenakan terjadinya perubahan struktur pada fasa CuAl_2 terlihat lebih dominan dengan jumlah lebih banyak bentuk butirannya terlihat halus dan menyebar merata dibandingkan dengan penambahan Cu sebesar 2%, dimana fasa Si terlihat menyebar merata. Sedangkan pada spesimen aluminium paduan dengan Cu sebesar 6% didapatkan harga keausan sebesar $0,00048 \text{ mm}^3/\text{kg.m}$ dimana disini mengalami kenaikan sebesar 18,7% dari komposisi Cu 4%. Dimana semakin tinggi nilai kekerasan maka semakin rendah pula nilai keausan yang artinya nilai keausan semakin baik, sebaliknya jika nilai kekerasan semakin rendah maka nilai keausan semakin tinggi yang artinya semakin tidak tahan aus.

Analisis Hasil Pengujian Ketahanan Korosi

Pengujian ketahanan korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisis laju korosi pada paduan Al-Zn-Si-Cu terhadap media larutan HCl dengan kadar sebesar 2,5 %. Proses perendaman dilakukan dengan durasi selama 100 jam. Hasil pengujian kemudian ditimbang dengan timbangan digital dapat dilihat hasil beratnya

Tabel 4. Hasil Pengujian Ketahanan Korosi

No	Variasi Cu	Berat awal (gr)	Berat akhir (gr)	Kehilangan berat (gr)	Luas korosi (cm^2)	Laju korosi (mppy)
1	2%	40,132	39,089	1,043	4,83	0,024
2	4%	35,745	34,914	0,831	4,86	0,019
3	6%	30,221	29,273	0,948	4,65	0,022



Gambar 10. Diagram Pengujian Ketahanan Korosi

Hasil pengujian ketahanan korosi pada aluminium paduan dengan kadar Cu 2% yang telah dilakukan dan dapat dilihat hasilnya sebesar $0,024 \text{ mppy}$. Hasil pengujian ketahanan korosi pada aluminium paduan dengan Cu sebesar 4% yang telah dilakukan dan dapat dilihat hasilnya sebesar $0,019 \text{ mppy}$ yang mana mengalami penurunan sebesar 26%. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan struktur dimana fasa Al terlihat menyebar dengan ukuran butir yang semakin kecil dan, fasa Si terlihat butirannya berbentuk memanjang lebih menyebar. Sedangkan fasa CuAl_2 ukuran butirannya terlihat halus dan menyebar merata. Selanjutnya pada paduan dengan unsur Cu 6% yang telah dapat dilihat hasilnya sebesar $0,022 \text{ mppy}$ yang

mana mengalami kenaikan sebesar 13,6%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kekerasan dan semakin rendah tingkat keausan maka ketahanan korosi semakin baik.

KESIMPULAN

Bedasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disusun kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa coran yang dihasilkan termasuk dalam paduan Al-Zn-Si-Cu.
2. Struktur mikro aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu memperlihatkan 3 struktur yaitu : aluminium, Si, dan CuAl_2 . Dimana menunjukkan semakin tinggi kadar Cu yang ditambahkan maka struktur CuAl_2 ukuran butiran semakin halus dominan dan menyebar merata dengan bentuk titik-titik kecil yang saling berdekatan satu sama lain.
3. Hasil pengujian kekerasan aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu dengan metode *Brinell* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terdapat pada kadar Cu 4% dengan nilai 19,6 BHN. Selanjutnya Cu 6% sebesar 19,35 BHN sedangkan nilai kekerasan paling rendah terdapat pada kadar Cu 2% dengan nilai kekerasan 18,81 BHN.
4. Hasil pengujian keausan aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu dengan metode *Ogoshi* menunjukkan bahwa nilai keausan terendah terdapat pada penambahan Cu dengan kadar 4% dengan nilai 0,00039 $\text{mm}^3/\text{kg.m}$. Selanjutnya kadar Cu 6% dengan nilai 0,00048 $\text{mm}^3/\text{kg.m}$ sedangkan nilai keausan paling tinggi terdapat pada kadar Cu 2% dengan nilai keausan 0,00055 $\text{mm}^3/\text{kg.m}$.
5. Hasil pengujian ketahanan korosi aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu dengan metode kehilangan berat dimana menunjukkan bahwa nilai laju korosi terendah terdapat pada penambahan Cu dengan kadar 4% dengan nilai 0,019 *mmpy*. Selanjutnya pada kadar Cu 6% sebesar 0,022 *mmpy* sedangkan nilai laju korosi paling tinggi terdapat pada kadar Cu 2% dengan nilai 0,024 *mmpy*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih pada Program Teknik Mesin S1, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta dan kepada semua pihak yang telah berperan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

REFERENSI

- Ardi, P. M., & Bayuseno, A. P., 2016, *Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga 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.
- Ahmad, Z. Dan Setiawan, S., 2017, *Analisa Pengaruh Unsur Cu Dan Variasian Temperatur Peleburan Terhadap Sifat Mekanis Kepala Piston*, MEKANIKA: Jurnal Teknik Mesin, Vol.3, No.1.Hal.23-31.
- Davis, J.R., 1993, *ASM Speciality Handbook : Aluminum And Aluminum Alloys*, Edisi 1, ASM International, Ohio, USA.
- Dobrzanski, L., 2006, *Influence Of The Crystallization Condition On Al-Si-Cu Casting Alloys Structure*, Journal Of Achievements In Materials And Manufacturing Engineering, Vol.18, No.1, Hal 1-3.
- Djiwo, S., & Purkuncoro, A. E., 2014, *Analisis Kekerasan Al-Cu dengan Variasi Prosentase Paduan Cu pada Proses Pengecoran dengan Penambahan Serbuk Degasser*, Jurnal Flywheel, Vol. 9, No. 1, Hal. 38-47.
- Prayitno, D., & Shodiqi, M. F. K., 2016, *Pengaruh Penambahan Tembaga pada Porositas Aluminium*, Prosiding Seminar Nasional XI, Hal. 287-290.

- Suherman., 2014, *Pengaruh Penambahan Cu Pada Paduan Al-7Si Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Hasil Coran Kepala Silinder Motor 2 Tak Dengan Metode Pengecoran Lost Foam Casting*, Vol.10, No.1, Hal. 10-13.
- Surdia, T. Dan Saito, S. 1985, *Pengetahuan Bahan Teknik*, Edisi Ke 2. P.T. Pradnya Paramita. Jakarta. Indonesia.
- Suryasa, R., 2016, *Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga (Cu) C84800 Dan Aluminium Al 6063*, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 4, No.2, Hal. 15-30.
- Ulfyah, L. And Fathorrozi, M., 2020, *Analisi Paduan Al Dan Cu Untuk Material Chasis Kendaraan, Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, Vol.7 No. 1, Hal.17-22. doi: 10.34128/je.v7il.112