

## Pengaruh Penambahan Unsur Cu pada Ingot Bahan Wajan Produk IKM

Taufik Halim Permana<sup>1</sup>, Ratna Kartikasari<sup>2,\*</sup>, Rivan Muhfidin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jl. Babarsari Caturtunggal Depok Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281

\*Corresponding author: [ratna@itny.ac.id](mailto:ratna@itny.ac.id).

### Abstract

*One of the efforts to improve the quality of IKM frying pan products is by modifying aluminium alloy as a frying pan material. One of the efforts to modify the aluminium alloy is the addition of copper. This study aims to study the effect of adding Cu elements to the Al-Si alloy material for IKM aluminum frying pans in the Special Region of Yogyakarta on the structure and mechanical properties produced. The materials used in this study were aluminium ingots and copper sheets. Smelting is carried out using a crucible furnace. The smelting process was carried out with variations in the composition of Cu by 2%, 4%, and 6%. The tests carried out are microstructure testing with microscope optic, hardness testing with Brinell, tensile testing, and impact testing with Charpy. The results of the microstructure test show that the resulting castings have the structure of Al, Si, and Cu-Al<sub>2</sub>. The maximum hardness and tensile values occurred with the addition of 4% Cu, which was 19.6 BHN and 14.81 MPa with a strain value of 0.004%. The results of the impact test showed that the most ductile alloy was found in the 2% Cu alloy of 0.0068 J/mm<sup>2</sup>.*

**Keywords:** IKM product pan, aluminium alloy, elemenet Cu.

### Abstrak

Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas dari wajan produk IKM dengan cara memodifikasi paduan aluminium sebagai bahan wajan. Salah satu upaya memodifikasi paduan Al yang dilakukan adalah dengan penambahan unsur Cu. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan unsur Cu pada ingot paduan Al-Si bahan wajan IKM pengecoran aluminium di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap struktur dan sifat mekanik yang dihasilkan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ingot aluminium dan lembaran tembaga. Peleburan dilakukan menggunakan dapur krusibel. Proses peleburan dilakukan dengan variasi komposisi Cu sebesar 2%, 4%, dan 6%. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian struktur mikro dengan mikroskop optik, pengujian kekerasan dengan metode Brinell, pengujian tarik, dan pengujian impak dengan metode Charpy. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa coran yang dihasilkan memiliki struktur Al, Si, dan Cu-Al<sub>2</sub>. Nilai kekerasan maksimal terjadi pada penambahan unsur Cu 4% yaitu sebesar 19,6 BHN. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi didapat pada paduan Cu 4% sebesar 14,81 MPa dengan nilai regangan sebesar 0,004%. Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa paduan yang paling ulet terdapat pada paduan Cu 2% sebesar 0,0068 J/mm<sup>2</sup>.

**Kata kunci:** wajan produk IKM, aluminium paduan, unsur Cu.

## **PENDAHULUAN**

Davis (1993) mengatakan bahwa kelebihan dari paduan Cu yaitu memperbaiki kekuatan dan kekerasan tanpa perlakuan panas, dan kekurangan dari paduan Cu yaitu mengurangi ketahanan terhadap serangan korosi, mengurangi ketahanan terhadap retak panas, dan mengurangi mampu cor. Hal tersebut didukung dengan adanya Dodi Prayitno dan Muhammad Fatahillah Kawakibi Shodiqi (2016) yang mengatakan penambahan Cu dari 15% ke 32% dalam Al meningkatkan porositas as cast yang berdampak pada penurunan kekerasan. Eko dan Soeparno (2014) mengatakan bahwa semakin tinggi variasi paduan Cu pada aluminium maka mempermudah terbentuknya struktur butir, hal tersebut ditambahkan oleh Pandhu Ardi dan Athanasius Priharyoto Bayuseno (2016) yaitu semakin besar Cu nilai kekerasan akan semakin tinggi karena ukuran butir yang semakin kecil, dan struktur mikro, kekerasan, dan tarik dipengaruhi oleh perlakuan panas dan variasi penambahan Cu.

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.

Zainun dan Ahmad Sony Setiawan (2017) dan Davis (1993) menjelaskan paduan Al-Cu mempunyai sifat yang sangat baik, mampu cor dapat diatasi dengan paduan ini, Cu dapat mengurangi ketahanan terhadap serangan korosi. Sedikit banyaknya kadar Cu menentukan fasa akhir yang terbentuk, sedangkan fasa akhir yang terbentuk dapat menentukan sifat akhir paduan. Paduan ini akan menghasilkan fasa baru yang mana jika tersebar merata dapat menambahkan kekuatan dan kekerasan bahan.

Surdia (1999) dan Suryasa (2016) menjelaskan bahwa paduan Al-Si memiliki sifat yang sangat baik kecairannya, memiliki sifat mampu alir yang baik saat keadaan cair serta dalam pembekuan hampir tidak terjadi keretakan. Al-Si juga memiliki sifat tahan terhadap korosi dan penghantar listrik yang sangat baik. Zainun dan Ahmad Sony Setiawan (2017) menjelaskan proses pengecoran adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan cetakan dan logam cair untuk menghasilkan produk yang hampir mendekati bentuk jadi. Soeparno Djiwo dan Aladin Eko Purkuncoro (1999) mengatakan bahwa proses pengecoran aluminium dimulai dengan pembuatan pola, pembuatan inti, pembuatan cetakan, peleburan, penuangan, pembongkaran dan pembersihan coran, dan pemeriksaan coran. Penelitian ini memiliki berbagai manfaat diantaranya sebagai masukan bagi industri pengecoran aluminium untuk meningkatkan kualitas produknya, sebagai langkah awal terwujudnya industri logam dengan berbagai macam variasi logam dengan kualitas dan ketahanan yang berbeda beda, serta sebagai langkah awal terwujudnya industri logam yang mampu bersaing dipasar domestik maupun dipasar global.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dimulai dengan pengambilan bahan baku coran yaitu aluminium dan tembaga, yang mana aluminium diambil langsung dari IKM yang berupa ingot dan tembaga berupa lembaran yang dijual dipasaran.



**Gambar 1.** Ingot aluminium

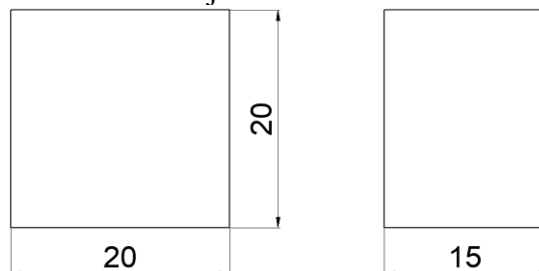


**Gambar 2.** Lembaran tembaga

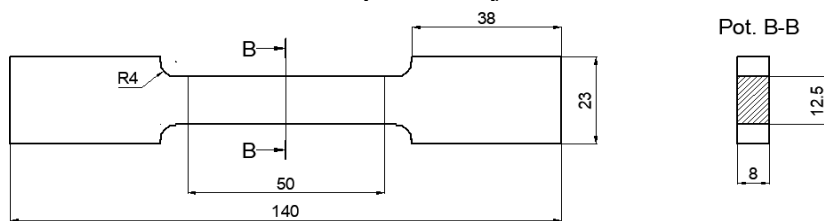


**Gambar 3.** Proses pengecoran

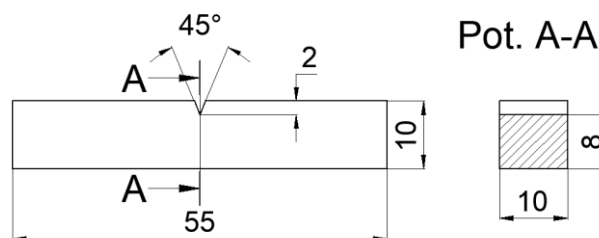
Agar memudahkan dalam pengecoran, lembaran tersebut di potong kecil-kecil sehingga dalam pengecoran dapat tercampur secara merata. Proses pengecoran ini dilakukan di Polman, Ceper, Klaten. Variasi tembaga ada 3 macam penambahan, yaitu penambahan tembaga sebanyak 2%, 4%, dan 6%. Dalam proses pengecoran menggunakan dapur krusibel dengan penguangan logam cair kedalam cetakan berbentuk ingot dengan ukuran 200 mm x 30 mm x 30 mm. Setelah proses pengecoran dilakukan pembuatan spesimen uji. Pengujian yang akan dilakukan yaitu pengujian struktur mikro dengan perbesaran 200x, pengujian kekerasan menggunakan metode *Brinell*, pengujian tarik, dan pengujian impak menggunakan metode *Charpy*. Proses pengujian sifat mekanik dilakukan di laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin dan Industri Universitas Gajah Mada.



**Gambar 4.** Spesimen uji kekerasan



**Gambar 5.** Spesimen uji tarik



**Gambar 6.** Spesimen uji impak

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur kimia dalam spesimen yang akan diuji. Pengujian ini menggunakan alat spectrometer. Data hasil dari pengujian komposisi kimia aluminium dapat dilihat pada Tabel 1.

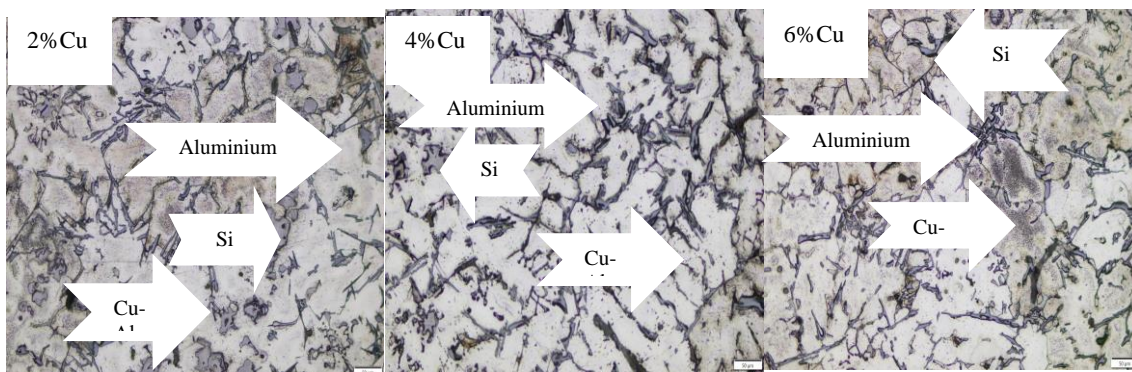
**Tabel 1.** Hasil uji komposisi kimia paduan Al-Zn-Si-Cu

%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	0,02	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 uji komposisi kimia 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%. Dapat disimpulkan bahwa paduan Al dengan penambahan unsur Cu sebanyak 2% dapat dikategorikan paduan Al-Zn-Si-Cu. Kadar yang tidak mencapai target disebabkan oleh paduan yang menempel di dinding dapur pada saat peleburan. 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%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Cu sebanyak 4% dapat dikategorikan paduan Al-Zn-Si-Cu. Kadar yang tidak mencapai target disebabkan oleh pengadukan pada saat peleburan kurang maksimal. Penambahan unsur Cu sebanyak 6% menunjukkan pengurangan aluminium sebesar 5,61% dan penambahan Cu sebanyak 6% menjadi 7,51%, kehilangan Cu sebanyak 0,05%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan unsur Cu sebanyak 2% dapat dikategorikan paduan Al-Zn-Si-Cu. Kadar yang tidak mencapai target disebabkan oleh penguapan paduan.

### Analisis Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan pengamatan pada benda uji menggunakan mikroskop optik setelah benda uji di etsa. Zat kimia yang digunakan untuk etsa adalah HNO<sub>3</sub>+HCl dengan perbandingan 1:3. Spesimen terdiri dari penambahan kadar Cu sebesar 2%, 4%, dan 6%. Pengujian struktur mikro menggunakan perbesaran sebesar 200x pada seluruh spesimen. Hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 3.



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

Dari hasil pengamatan struktur mikro yang dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik perbesaran 200x membuktikan bahwa setiap komposisi yang dilakukan menghasilkan beberapa fasa antara lain:

1. Fasa Al (aluminium) karakteristik dari fasa ini adalah berwarna terang
2. Fasa Si (silikon) karakteristik dari fasa ini adalah berwarna biru terang terbentuk fasa ini karena pada ingot mengandung silikon
3. Fasa Cu-Al<sub>2</sub> karakteristik dari fasa ini adalah berwarna biru kehitam-hitaman. Berupa bintik bintik yang mengumpul jadi satu fasa ini yang membuat material menjadi lebih tangguh.

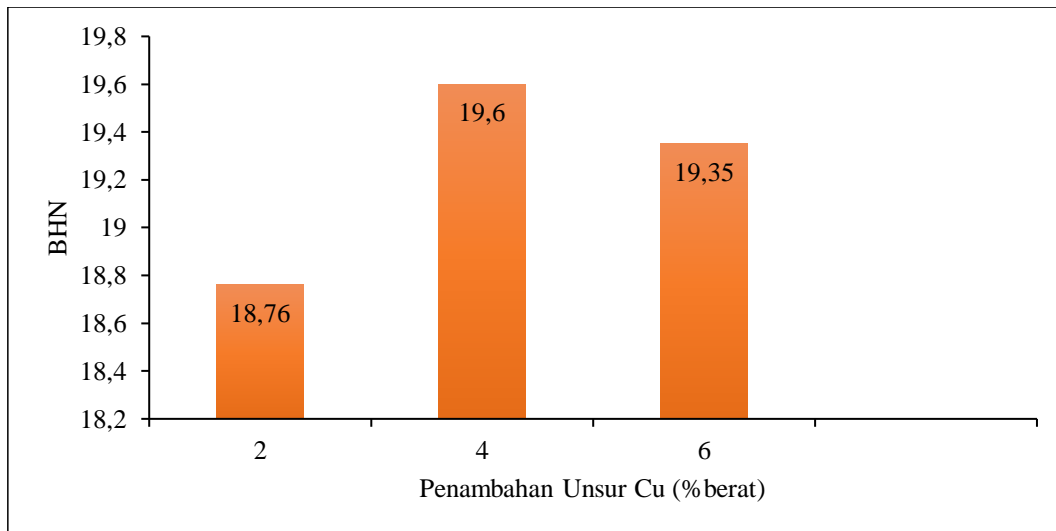
Adapun fasa Zn tidak terlihat dikarenakan fasa Zn berhasil tersubstitusi pada aluminium. Hal itu dibuktikan dengan masuknya unsur Zn pada celah kristal aluminium karena jari-jari atom Zn lebih kecil dari jari-jari atom aluminium. Komposisi paduan penambahan Cu 2% menunjukkan butiran Al terlihat besar, Si membentuk bulatan bulatan, dan Cu-Al<sub>2</sub> masih belum terlalu terlihat, komposisi paduan penambahan Cu 4% menunjukkan butiran Al lebih kecil, Si membentuk pola memanjang, sedangkan Cu-Al<sub>2</sub> terlihat semakin banyak, komposisi paduan penambahan Cu 6% menunjukkan butiran Al semakin mengecil, Si lebih merata, dan Cu-Al<sub>2</sub> merata.

### Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode uji kekerasan *Brinell*. Setiap spesimen dilakukan pengujian pada 3 titik. Untuk menghitung hasil uji kekerasan *Brinell* (BHN) yaitu beban dibagi dengan diameter indentor dan diameter hasil lekukan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil uji kekerasan *Brinell* paduan Al-Zn-Si-Cu

Variasi Kadar Cu	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	18,76
	2	1,55	1,54	1,55	1,59	1,56	18,53	
	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 paduan Al-Zn-Si-Cu

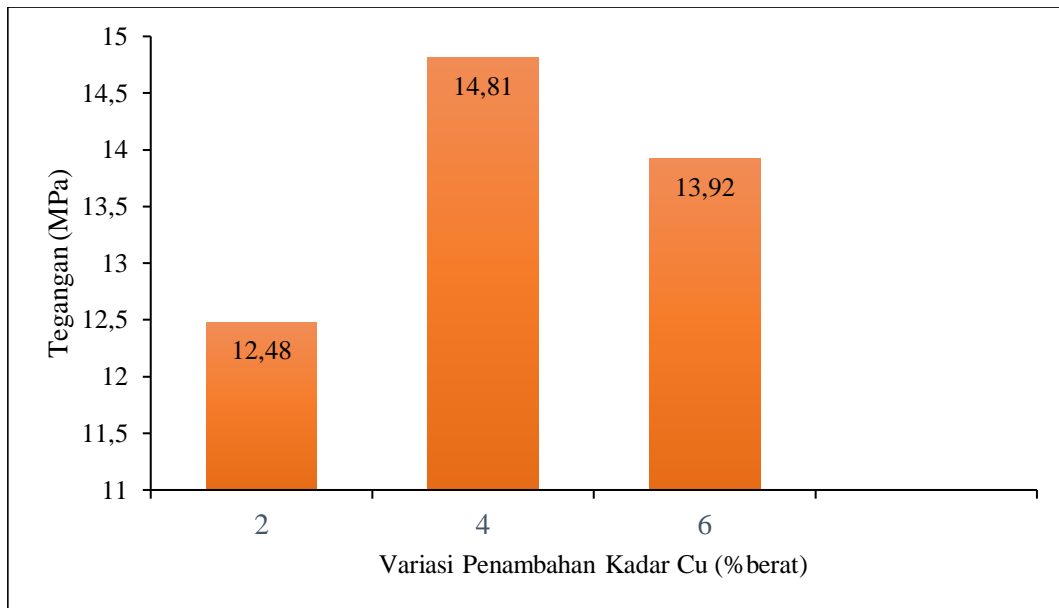
Gambar 4. menunjukkan hasil pengujian kekerasan dengan metode *Brinell* dengan beban 40 kg, berdasarkan hasil uji kekerasan terhadap spesimen uji paduan Al-Si-Cu diperoleh harga kekerasan tertinggi pada spesimen berkomposisi 4%. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan aluminium paduan dengan penambahan unsur Cu2% sebesar 18,76 BHN, penambahan unsur Cu4% sebesar 19,6 BHN, mengalami kenaikan sebesar 4,29%, hal itu terjadi karena peningkatan jumlah struktur Cu-Al<sub>2</sub>, dengan adanya Si dan jumlah Al dalam 4% terjadi penurunan sehingga peningkatan kekerasan menjadi signifikan, selanjutnya penambahan unsur Cu6% sebesar 19,35 BHN, mengalami penurunan sebanyak 1,27% dari komposisi Cu4%. Kekerasan tertinggi didapat karena komposisi Cu4% dengan 19,6 BHN, dihubungkan dengan pengujian struktur mikro, komposisi Cu4% memiliki banyak dendrit yang terbentuk dan banyaknya Cu-Al<sub>2</sub> yang menyebabkan kekerasan semakin meningkat, kemudian komposisi Cu6% dengan 19,35 BHN, jika dilihat di struktur mikronya Cu-Al<sub>2</sub> pada paduan ini tidak tersebar secara merata dan jika dihubungkan dengan komposisi kimia pada paduan Cu4% dan Cu6% memiliki komposisi yang hampir sama dan Cu2% dengan 15,54 BHN yang mana butiran Al pada struktur mikro masih terlihat besar dan Si masih membentuk bulatan bulatan.

### Analisis Hasil Pengujian Tarik

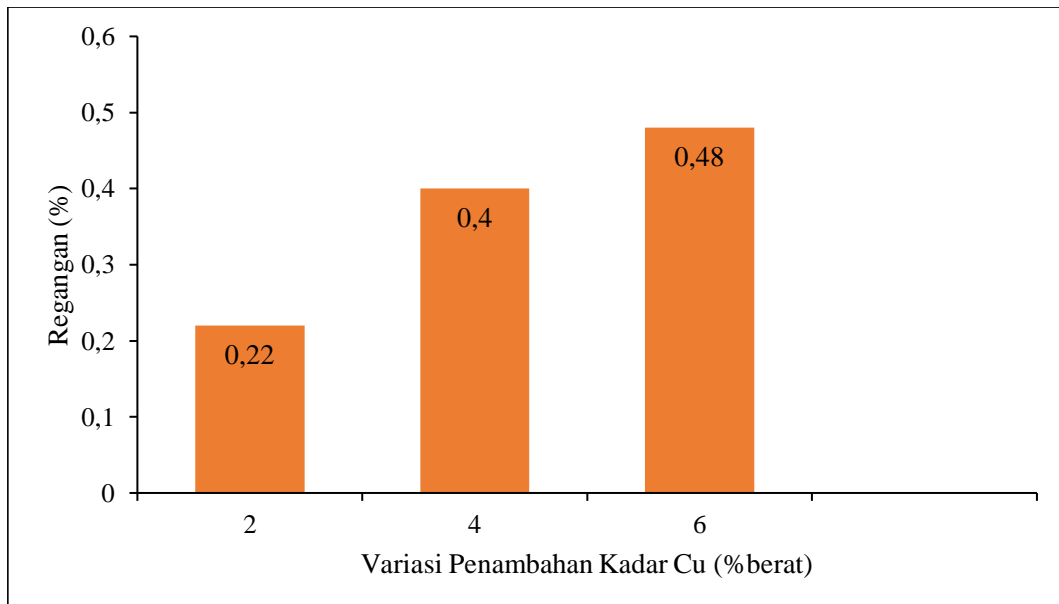
Pengujian tarik dilakukan dengan standar spesimen menggunakan ASTM E8. Tegangan tarik dapat dihitung dengan membagi beban yang terjadi dibagi dengan luas awal penampang spesimen uji awal, regangan yang terjadi dihitung dengan panjang benda uji saat patah dikurangi dengan panjang benda uji mula – mula kemudian dibagi dengan panjang benda uji mula - mula dan dikalikan dengan 100%. Hasil data yang sudah didapatkan melalui pengujian spesimen kemudian dihitung, sehingga menghasilkan perhitungan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian tarik paduan Al-Zn-Si-Cu

No	Varias i Kadar	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Luas (mm <sup>2</sup> )	L <sub>0</sub> (mm)	L <sub>1</sub> (mm)	ΔL (mm)	Pmax (N)	Tegangan n (MPa)	Regangan n (%)
1	2%	7,90	12,69	100,25	50	50,11	0,11	1,252	12,48	0,22
2	4%	7,79	12,48	97,22	50	50,20	0,20	1,440	14,81	0,4
3	6%	7,61	12,42	94,52	50	50,24	0,24	1,316	13,92	0,48



**Gambar 9.** Diagram kekuatan tarik paduan Al-Zn-Si-Cu



**Gambar 10.** Diagram regangan paduan Al-Zn-Si-Cu

Pada hasil pengujian tarik untuk spesimen penambahan Cu sebanyak 2% diperoleh tegangan tarik sebesar 12,48 MPa dan nilai regangan sebesar 0,22%. Hasil pengujian tarik pada spesimen penambahan Cu sebanyak 4% diperoleh nilai sebesar 14,81 MPa dan nilai regangannya sebesar 0,4%, komposisi Cu4% mengalami kenaikan pada tegangan dan regangannya dibanding komposisi Cu2% yaitu tegangannya sebesar 15,7% dan regangannya sebesar 0,18 %. Selanjutnya pada spesimen penambahan unsur Cu sebanyak 6% menunjukkan nilai tegangan sebesar 13,92 MPa dengan regangan sebesar 0,48%, tegangan mengalami penurunan sebanyak 6% dan regangan mengalami kenaikan sebesar 0,08%. Berdasarkan data hasil pengujian tegangan tarik menunjukkan nilai yang tertinggi terjadi pada spesimen penambahan unsur Cu 4% dan tegangan terendah pada spesimen penambahan unsur Cu 2%, sedangkan regangan nilai tertinggi didapat pada spesimen penambahan unsur Cu 6% dan regangan nilai terendah didapat pada spesimen penambahan unsur Cu 2%. Jika dihubungkan dengan kekerasan maka kekerasan meningkat, tegangannya meningkat, ini sesuai dengan uji

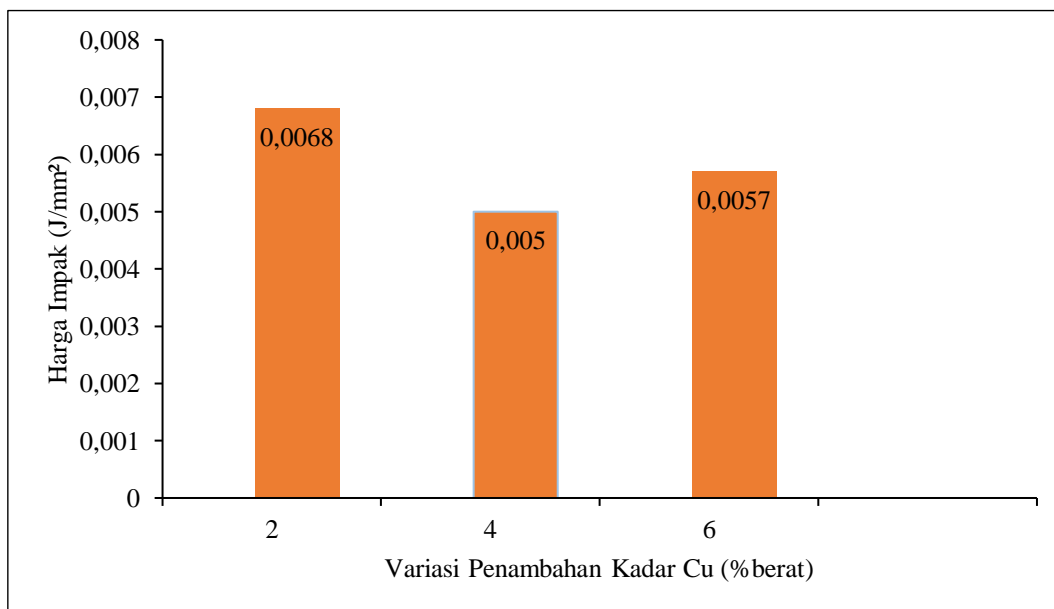
kekerasan. Penambahan unsur Cu sebanyak 4% mengalami peningkatan kekerasan dibandingkan dengan penambahan unsur Cu sebanyak 2%, dan turun kembali pada penambahan unsur Cu sebanyak 6%. Berdasarkan struktur mikro dapat dilihat bahwa penambahan unsur Cu 4% bahwa bentuk Si menjadi memanjang dan unsur Cu-Al<sub>2</sub> mulai terlihat jelas mengalami penambahan secara signifikan yang menyebabkan kekerasan meningkat dan jika kekerasan meningkat maka efeknya akan menjadi getas. Spesimen uji kekerasan dengan tegangan berjalan lurus. Jika dihubungkan dengan kekerasannya penambahan Cu 4% memiliki kekerasan yang paling tinggi, dan penambahan Cu 2% memiliki kekerasan yang lebih rendah dari pada 6%.

#### Analisis Hasil Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan dengan menggunakan metode pengujian ASTM E23 sebagai standar dalam pembuatan spesimen uji, spesimen uji berukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan kedalaman takikan 2 mm dan membentuk sudut 45°. Terlebih dahulu menghitung energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan, setelah itu dapat menghitung harga impak dengan cara membagi energi untuk mematahkan benda uji dengan luas pada area bawah takikan. Hasil pengujian harga kekerasan impak dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil pengujian impak paduan Al-Zn-Si-Cu

No.	Variasi Kadar	Sudut $\alpha$ (°)	Sudut $\beta$ (°)	Energi Terserap (J)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Harga Impak (J/mm <sup>2</sup> )
1	2%	156	148	0,537	79,182	0,0068
2	4%	156	150	0,3896	76,99	0,005
3	6%	156	149	0,4623	80,44	0,0057



**Gambar 11.** Diagram pengujian impak paduan Al-Zn-Si-Cu

Hasil perhitungan pengujian impak pada penambahan unsur Cu 2% menunjukkan harga impak sebesar 0,0068 J/mm<sup>2</sup>. Untuk penambahan unsur Cu sebanyak 4% harga impaknya 0,005 J/mm<sup>2</sup>, dan penambahan unsur Cu 6% memiliki harga impak sebesar 0,0057 J/mm<sup>2</sup>. Penambahan unsur Cu 2% dan Cu 4% mengalami penurunan sebanyak 36%. Penambahan unsur Cu sebanyak 6% mengalami kenaikan harga impak sebesar 12% menjadi 0,0057 J/mm<sup>2</sup>.



Pengujian impak material terendah pada komposisi 4% yaitu sebesar 0,005 J/mm<sup>2</sup> dikarenakan dalam pengujian kekerasan, penambahan Cu sebanyak 4% mempunyai harga yang tertinggi. Semakin tinggi harga kekerasan maka semakin rendah harga impaknya. Sehingga paduan yang paling ulet dimiliki oleh penambahan unsur Cu sebanyak 2% yang memiliki harga impak sebesar 0,0068 J/mm<sup>2</sup>, kemudian diikuti oleh 6% yang memiliki harga impak sebesar 0,0057 J/mm<sup>2</sup> dan 4% yang memiliki harga impak sebesar 0,005 J/mm<sup>2</sup>. Pada pengujian ini didapat bahwa semakin keras spesimen uji maka harga impaknya semakin menurun, dan begitu juga sebaliknya. Jika dihubungkan dengan pengujian tarik, semakin tinggi tegangan maka harga impaknya semakin rendah. Maka didapat harga impak dari yang tertinggi yaitu spesimen uji dengan variasi Cu2%, Cu6%, dan Cu4%.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia, maka material yang digunakan dalam penelitian ini termasuk paduan Al-Zn-Si-Cu.
2. Struktur mikro aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu memperlihatkan adanya 3 struktur yaitu aluminium, silikon, dan Cu-Al<sub>2</sub>. Semakin besar kadar Cu yang diberikan maka struktur Cu-Al<sub>2</sub> semakin dominan dengan bentuk bulatan-bulatan kecil yang saling berdekatan satu sama lain dan ukuran semakin halus.
3. Hasil pengujian kekerasan aluminium paduan Al-Zn-Si-Cu dengan metode *Brinell* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi pada 4%Cu sebesar 19,6 BHN, selanjutnya 6%Cu sebesar 19,35 BHN dan yang terendah adalah 2%Cu sebesar 18,76 BHN.
4. Hasil pengujian tarik berbanding lurus dengan pengujian kekerasan, dimana semakin keras paduan maka semakin getas. Nilai tertinggi terjadi pada penambahan Cu 2% dilanjutkan Cu 4%, nilai terendah pada Cu 6%.
5. Hasil pengujian impak menggunakan metode *Charpy*, menunjukkan bahwa pengujian impak berbanding terbalik dengan pengujian tarik, semakin getas paduan maka semakin rendah harga impaknya, paduan yang paling ulet adalah paduan dengan penambahan Cu 2%, kemudian diikuti dengan penambahan Cu 6% dan paduan 4% yang memiliki kegetasan yang tinggi.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan kali ini 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.
- Davis, J. R., 2001, *Aluminum and Aluminum Alloys*, ASM International, Hal 351-416.
- 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.
- Majanasastra, R. B. S., 2016, *Analisis Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming pada Material Tembaga dan Aluminium Al6063*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 4, No. 2, Hal. 15-30.

- Prayitno, D., & Shodiqi, M. F. K., 2016, *Pengaruh Penambahan Tembaga pada Porositas Aluminium*, Prosiding Seminar Nasional XI, Hal. 287-290.
- Surdia, T., & Saito, S., 1999, *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Ulfiyah, L., & Fathorrozi, M., 2020, *Analisis Paduan Al dan Cu untuk Material Chassis Kendaraan*, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 7, No. 1, Hal. 17-22.
- Zainun, & Setiawan, A. S., 2017, *Analisa Pengaruh Penambahan Unsur Cu dan Variasi Temperatur Peleburan terhadap Sifat Mekanik Kepala Piston*, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 3, No. 1.