

Sifat Mekanis Paduan Aluminium A356 dengan Penambahan Unsur Tembaga Hasil Proses *Gravity Casting*

Martua Manik, Indra Chandra Setiawan, Dwi Rahmalina[#]

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Srengseng Sawah Jagakarsa, DKI Jakarta, 12640, Indonesia

[#]drahmalina@univpancasila.ac.id

Abstrak

Pelek *racing* mobil merupakan komponen penting dalam kendaraan, dihasilkan dengan proses pengecoran paduan aluminium A356 sebagai bahan utama. Kualitas produk pelekat menjadi faktor penting dalam pembuatannya. Menurut standar kualitas *Standard American Racing Custom Wheels* (preference ISO 9001/QS 9000) yang mengacu pada standar ASTM B26/B108 yaitu: UTS = 227,79 MPa s/d 260 MPa, TYS = 195 MPa, *elongation* = 5%-7%, *hardness* = 60-90 BHN dan IS = 5,90 J/cm². Sifat mekanis suatu paduan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: komposisi kimia, perlakuan panas, proses pengecoran dan proses pengerjaan. Dengan merubah komposisi kimia, diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium A356. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan unsur Cu sebesar 2wt%, 3wt% dan 4wt% ke dalam paduan aluminium A356. Dilebur pada suhu 720 °C, waktu penuangan 3 detik, dituang dengan metode *gravity casting*. Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi kimia, struktur mikro, kuat tarik, kekerasan, dan dampak. Hasil penelitian menunjukkan adanya perubahan struktur mikro dan komposisi kimia dengan bertambahnya Cu, semakin besar Cu mengakibatkan kekuatan dan kekerasan semakin tinggi namun getas. Hasil perbaikan sifat mekanis setelah penambahan Cu yang optimum adalah 2wt% yaitu: UTS = 228,22 MPa, TYS = 215,65 MPa, *elongation* = 5,7%, *hardness* = 140,9 VHN, dan IS = 6,18 J/cm².

Kata kunci: aluminium A356, *gravity casting*, pelekat *racing*, tembaga

Abstract

Racing car rims are an important component in vehicles, produced by casting process of A356 aluminium alloy as the main material. The quality of rim products is an important factor in their manufacture. According to the quality standards of Standard American Racing Custom Wheels (preference ISO 9001/QS 9000) which refer to ASTM B26/B108 standards, namely: UTS = 227.79 MPa to 260 MPa, TYS = 195 MPa, elongation = 5%-7%, hardness = 60-90 BHN and IS = 5.90 J/cm². The mechanical properties of an alloy are influenced by several factors such as: chemical composition, heat treatment, casting process and working process. By changing the chemical composition, it is expected to improve the mechanical properties of A356 aluminium alloy. This research was carried out by adding 2wt%, 3wt% and 4wt% Cu elements to the A356 aluminium alloy. It is melted at 720 °C, pouring time 3 seconds, poured by gravity casting method. Then, we tested the chemical composition, microstructure, tensile strength, hardness, and impact. The results showed that there was a change in the microstructure and chemical composition with the addition of Cu, the greater the Cu, the higher the strength and hardness but the brittleness. The results of improved mechanical properties after the addition of Cu were optimum 2wt%, namely: UTS = 228.22 MPa, TYS = 215.65 MPa, elongation = 5.7%, hardness = 140.9 VHN, and IS = 6.18 J/cm².

Keywords: A356 aluminium, *gravity casting*, racing rims, copper

I. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam ringan, tahan korosi, konduktivitas listrik yang baik, ketahanan aus, dan sangat baik untuk pengecoran [1]. Pengecoran aluminium banyak digunakan di

industri otomotif seperti blok mesin, *head cylinder*, piston, *valve*, *braket*, dan salah satunya pelekat [2]. Pelekat merupakan komponen yang sangat penting pada kendaraan, selain berfungsi sebagai sarana penggerak kendaraan untuk bisa maju ataupun mundur, Pelekat juga berfungsi sebagai penerima

tegangan dan beban yang cukup besar untuk itu kekuatan pelek menjadi faktor utama dalam proses pembuatannya, sehingga dibutuhkan pengujian dan lulus uji sesuai standar [3]. Sebagai bahan utama pembuatan pelek *racing* untuk mobil, paduan aluminium A356 mempunyai spesifikasi standar kualitas penggunaan unsur Magnesium (Mg) sebesar 0,25-0,3% menurut *Standard American Racing Custom Wheels (preference ISO 9001/QS 9000)* yang mengacu pada standar ASTM B26/B108 yaitu; *Ultimate Tensile Strength (UTS)* = 227,79 MPa (23,22 kg/mm²) s/d 260 MPa, *Elongation* : 5% - 7% *Hardness* : 60 – 90 BHN, *Tensile Yield Strength (TYS)* = 195 MPa [4]-[6], dan nilai *Impact Strenght (IS)* minimal 5,90 J/cm² [7]. Sebagai bahan paduan yang umum digunakan dalam pengecoran pelek *racing* mobil, paduan aluminium A356 hanya mempunyai *Ultimate Tensile Strength* = 160 MPa (16,3 kg/mm²), *hardness* = 54,1Hv [7]-[8]. Sehingga perlu adanya perbaikan dengan meningkatkan sifat mekanisnya. Sifat mekanis suatu paduan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti : komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan [8]-[9].

Paduan aluminium A356 termasuk dalam kelompok paduan Al-Si hipoeutektik dan yang terdiri dari dendrit Al primer dan partikel Si eutektik, memiliki aplikasi luas di sektor otomotif, kelautan, dan lainnya karena kombinasi sifat-sifatnya yang sangat baik seperti fluiditas, koefisien ekspansi termal yang rendah, rasio kekuatan terhadap berat yang baik dan ketahanan korosi. Diketahui bahwa penambahan sejumlah kecil Cu, Mg, Mn, Sr, Ti atau Ni memperkuat paduan Al-Si dan juga adanya Si memberikan sifat pengecoran yang baik [1]-[2]. Perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 telah banyak diteliti dengan menambahkan unsur lain. Penelitian ini sebelumnya telah diteliti dengan penambahan unsur Mg sebesar 0,2, 0,25, 0,30 dan 0,35w% kemudian diperlakukan panas T6 [4]. Perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 dengan menambahkan unsur Cu sebesar 0,05, 0,10, 0,15 dan 0,20w% kemudian diperlakukan panas T5 telah dilakukan [7]. Penambahan unsur Mn sebesar 0,24w% terhadap paduan Al-10Si dengan metode *Lost Foam Casting (LFC)* nilai kekerasan benda cor yaitu hanya meningkat sebesar 2,42% [10]. Penambahan unsur Sr terhadap paduan aluminium A356 dengan metode pengecoran metode *Lost Foam Casting (LFC)* telah dilakukan [11]. Selanjutnya diteliti dengan penambahan unsur TiB sebesar 0,12%, 0,17%, 0,22% dan 0,27w% serta pengecoran dilakukan dengan putaran 400 rpm telah dikaji [12]. Pemilihan unsur tembaga dalam penelitian ini adalah mudah didapatkan karena Indonesia termasuk negara

penghasil tembaga terbesar di dunia dan harganya terjangkau. Penambahan Cu berfungsi untuk memperbaiki sifat kelenturan, kekuatan dan kekerasan hasil coran tanpa dan dengan perlakuan panas pada aluminium [1]. Selain itu dengan penambahan Cu umumnya mengurangi ketahanan terhadap serangan korosi pada kondisi tertentu dan material tertentu [13]. Penambahan Cu juga dapat mengurangi ketahanan terhadap retak panas (*hot tearing*) dan tidak mengurangi mampu cor (*castability*) [14]. Namun keburukan Cu dalam paduan Al-Si mengarah pada pembentukan fasa Al_2Cu dan senyawa intermetalik lainnya yang bersifat keras dan rapuh sehingga menurunkan sifat mampu mesin (*machinability*) terutama dalam paduan Al-Si *hypoeutectic* dan juga mempengaruhi kekuatan dan dapat menurunkan ketahanan terhadap korosi [7]. Aluminium dengan 4-5% Cu, memiliki penyusutan yang besar, resiko kegetasan panas dan mudah terjadi retak [1]. Oleh karena itu besarnya Cu dibatasi maksimum 4wt%. Beberapa penelitian terkait lainnya, sebelumnya telah banyak dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis terhadap paduan Al-Si dengan penambahan Tembaga (Cu). Penambahan unsur Cu pada pengecoran Al-Si sebesar 0,1wt%, 1wt%, 3 wt% dan 5wt% menunjukkan semakin besar penambahan unsur Cu akan meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan [15]. Penambahan Cu sebesar 0, 1, 2, 3 dan 4w% pada paduan Al-Si menggunakan metode *stir casting* dengan pengadukan 600 rpm selama 5 menit pada suhu setengah padat telah dikaji [16]. Perlakuan panas T5 pada hasil pengecoran Al-Cu dengan penambahan Cu 3, 4, dan 5w% dan waktu *aging* 2 jam, 3 jam, 4 jam, hasil menunjukkan ukuran diameter butir AlCu tanpa perlakuan panas semakin mengecil setelah diberi perlakuan panas [17]. Penambahan Cu sebesar 6, 8, dan 10w% pada pengecoran Al dengan media pendingin air garam, air dan oli didapatkan nilai kekerasan yang tertinggi pada saat penambahan Cu 10w% dengan menggunakan media pendingin air garam dengan nilai kekerasan 480,4 HRB [18]. Penambahan Cu 0, 1, 2, 2,5 dan 3w% pada paduan aluminium dalam pembuatan *chassis* kendaraan, hasil penelitian menunjukkan 2w% Cu adalah nilai ketahanan terhadap deformasi elastis terbaik sebesar 56,66 N/mm² [15]. Hasil penelitian penambahan Cu terhadap mikrostruktur, kekerasan dan fluiditas paduan Al-10,5Si yang dicor dengan metode *Lost Foam Casting* dari 7% menjadi 9%, menurunkan kemampuan fluiditas logam cair, namun kekerasan benda cor meningkat sebesar 64,73% pada suhu temperatur konstan 750 °C [19].

Dalam proses pengecoran logam banyak metode yang digunakan salah satunya menggunakan

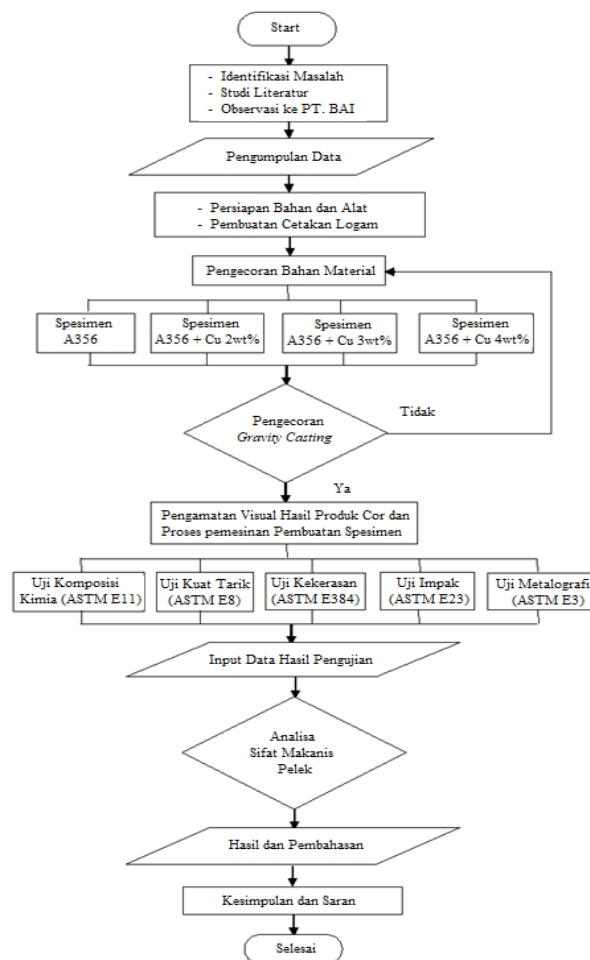
metode *gravity casting* yang dilakukan dalam penelitian ini, dengan memanfaatkan gaya gravitasi bumi untuk memenuhi cetakannya dengan biaya produksi lebih murah dibandingkan dengan metode lainnya. Cetakan sebelumnya dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 200-300 °C [20]. Dibandingkan dengan pengecoran pasir, pengecoran *gravity casting* memberikan kekuatan yang lebih tinggi dan struktur yang lebih halus karena laju pendinginan yang lebih cepat. Laju pendinginan yang lebih cepat tergantung pada perpindahan panas yang baik pada logam.

Tujuan penelitian ini adalah untuk meningkatkan sifat mekanis (*mechanical properties*) paduan aluminium A356 dengan penambahan unsur Tembaga (Cu) sebesar 2wt%, 3wt% dan 4wt% dengan metode pengecoran *gravity casting* pada cetakan logam yang dilebur pada suhu 720 °C dan waktu tuang dipercepat menjadi 3 detik. Tujuan lainnya adalah mendapatkan unsur paduan yang baik dengan biaya yang terjangkau dan metode pengecoran yang sederhana, murah, menghasilkan produk cor yang baik dan berkualitas. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memenuhi syarat standar kualitas pembuatan pelek *racing* mobil.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan plat baja karbon rendah (*strip plat*) sebagai pola cetakan yang di las bentuk kotak dengan ukuran 300 mm x 30 mm x 15 mm sebanyak 3 buah. Selanjutnya persiapan bahan utama yaitu paduan aluminium A356 dengan komposisi kimia : Al = *remainder* %; Si = 6,5-7,5%, Mg = 0,25-0,45%, Cu = 0,2%, Fe = 0,2%, Zn = 0,10%, Ti = 0,20%, Mn = 0,10% (ASTM B26/B108). Melalui pengujian *Spectrometry* dilakukan pengecoran untuk membuat sampel dari paduan dasar aluminium A356 dengan hasil unsur Cu = 0,01%. Acuan perhitungan komposisi kimia penggunaan penambahan variasi berat unsur tembaga dalam penelitian ini berdasarkan perhitungan awal pada saat proses peleburan, penggunaan penambahan tembaga yang digunakan adalah 2wt%, 3wt% dan 4wt%.

Selanjutnya penambahan variasi berat tembaga dilakukan pengujian secara eksperimental yang dipadukan dengan paduan aluminium A356 untuk dapat meningkatkan sifat mekanis. Sebelum proses peleburan, *crusibel* dan cetakan dibersihkan dan dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 200-300 °C. Timbang berat untuk masing-masing sampel uji dengan berat utama paduan aluminium A356 sebesar 1500 gr dan menambahkan unsur tembaga 2wt%, 3wt% dan 4wt%. Proses pengecoran logam dilakukan 4 tahap penuangan kedalam cetakan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tahap pertama melebur paduan aluminium A356, tahap selanjutnya dengan menambahkan Cu 2wt%, 3wt% dan terakhir 4wt% dilebur didalam *crusibel* pada suhu 700-720 °C dengan menambahkan *flux* agar pengotor dapat terangkat.

Sebelum dan sesudah penambahan Cu 2wt%, 3wt% dan 4wt%, setelah paduan aluminium sudah mencair masukkan Cu, mengaduk sampai rata dan angkat pengotor yang naik kepermukaan agar mendapatkan kecairan coran yang baik. Setelah tembaga tercampur rata dengan paduan aluminium dan temperatur tuang tercapai 720 °C, selanjutnya proses penuangan cairan coran ke cetakan dengan metode *gravity casting* pada cetakan logam, sudut penuangan 70°-75° dengan jarak tinggi penuangan 10-15 cm dan waktu penuangan 3 detik.

Masing-masing sampel (termasuk material awal) dilakukan pengujian pengamatan visual hasil produk pengecoran. Selanjutnya proses permesinan dalam pembuatan masing-masing spesimen yang mengacu pada standar ASTM yaitu: pengujian kuat tarik bentuk plat (ASTM E8-11), pengujian impak charpy (ASTM E23-11), dan prosedur standar pengujian untuk komposisi kimia yang digunakan adalah ASTM B85-03, untuk pengujian kekerasan

Vickers mengacu pada ASTM E384-11 (mikro), untuk pengujian struktur mikro (ASTM E3-11) dan perlakuan etsa dilakukan dengan standar ASTM E407-07 yaitu larutan etsa Keller's (Hidrogen fluorida (HF 2 ml), asam nitrat (HNO₃) 5 ml, asam klorida (HCL) 3 ml dan air (H₂O 190 ml) [21]. Kemudian dilakukan pembahasan dan kesimpulan. Untuk lebih jelasnya urutan-urutan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengecoran pembuatan pelek *racing* mobil menggunakan metode *gravity casting* dengan cetakan logam diperlihatkan pada Gambar 2. Hasil penelitian perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 dengan penambahan variasi berat unsur tembaga sebesar 2wt%, 3wt% dan 4wt%.

A. Pengamatan Produk Cor

Hasil produk cor dengan paduan aluminium A356 dengan penambahan variasi berat unsur tembaga menggunakan metode *gravity casting* diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Proses pengecoran menggunakan metode *gravity casting*



Gambar 3. Hasil pengecoran *gravity casting*

Gambar 3 menunjukkan hasil produk cor dengan metode pengecoran *gravity casting* terlihat pada bagian permukaan atas tidak rata dan kasar. Hal ini disebabkan cetakan pada bagian atas di biarkan terbuka sehingga cairan coran cepat membeku terlebih dahulu pada bagian tersebut. Tidak terdapat cacat coran yang berupa lubang, tingkat kecairan pada suhu 720 °C dan memanaskan cetakan terlebih dahulu pada suhu 200-300 °C sebelum proses penuangan cairan coran memberikan pengaruh besar terhadap hasil produk coran dan dibantu oleh gaya gravitasi sehingga produk cor lebih cepat padat dan menghasilkan produk dengan ukuran butir halus dan sedikit porositas, namun pada penambahan Cu 4wt% sedikit terjadi *shrinkage* ditunjukkan dengan lingkaran merah yang disebabkan proses penuangan yang tidak baik dan pengadukan yang kurang sempurna.

B. Komposisi Kimia Paduan Aluminium A356 Cor

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui komposisi yang terkandung dalam paduan aluminium A356. Hasil dari pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia pada paduan aluminium A356 menunjukkan unsur Cu = 0,01%. Pemilihan penambahan unsur tembaga (Cu) adalah menghasilkan efek yang baik, memperbaiki sifat kelenturan, kekuatan, peningkatan kekerasan hasil coran tanpa atau dengan perlakuan panas pada aluminium, perbaikan kekuatan tarik, mempermudah proses pengerjaan dengan mesin dan mengurangi ketahanan terhadap korosi secara umum.

C. Sifat Kekuatan Tarik Paduan Aluminium A356 Cor

Pengujian kuat tarik menggunakan alat uji merek Hung Ta (HT-9501) dengan pembebanan 100-500 KN. Sesuai standar ASTM E8 dalam pengujian tarik menggunakan 3 buah benda uji sebagai pembanding sehingga dari masing-masing

Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia

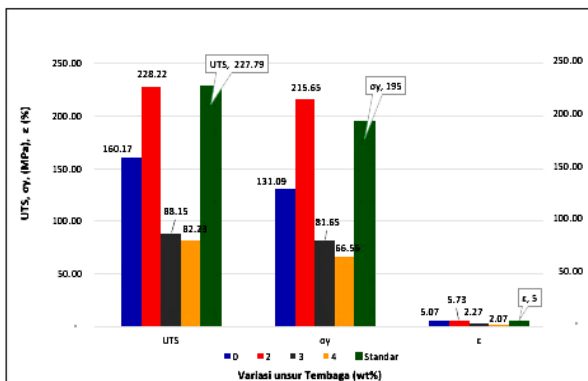
Unsur	Standar	A356
Al	Rest	92,44
Si	6,5–7.5	6,71
Mg	0,25–0,45	0,28
Cu	0,2	0,01
Fe	0,2	0,39
Mn	0,1	0,04
Cr	-	0,01
Ni	-	0,004
Zn	0,1	0,01
Ti	0,2	0,1

bahan paduan aluminium A356 dengan penambahan variasi berat Cu yang berbeda sebanyak 12 buah spesimen uji. Hasil pengujian terlihat jelas untuk perbedaan hasil uji tarik dari paduan aluminium A356 sebelum dan setelah penambahan tembaga yang diperlihatkan pada Gambar 4.

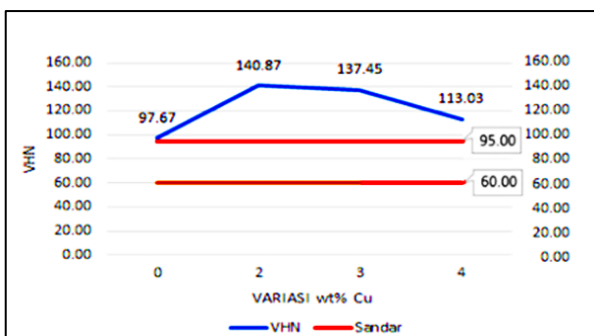
Hasil dari pengujian tarik pada paduan aluminium A356 memiliki sifat getas atau cepat patah sehingga tidak terlalu banyak deformasi yang signifikan. Terlihat bahwa dengan ditamahnya Cu maka terjadi perbaikan sifat mekanis terutama pada nilai tegangan maksimum (UTS) telah memenuhi standar pada penambahan tembaga 2wt% sebesar $UTS = 228,22 \text{ MPa}$, $Y_s = 215,65 \text{ MPa}$ dan $\epsilon = 5,73\%$. Dan nilai terendah pada penambahan tembaga 4wt% sebesar $UTS = 82,23 \text{ MPa}$, $Y_s = 66,65 \text{ MPa}$ dan $\epsilon = 2,07\%$.

D. Sifat Kekerasan Paduan Aluminium A356 Cor

Pengujian kekerasan Vickers dengan menggunakan alat pengujian Wilson VH 1102 dilakukan dengan pembebanan 100 gf dan waktu penekanan 15 detik dilakukan dengan memberikan 5 indentasi pada setiap spesimen dengan jarak berbeda sesuai prosedur standar ASTM E384. Hasil pengujian kekerasan Vickers diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik hasil pengujian kuat tarik



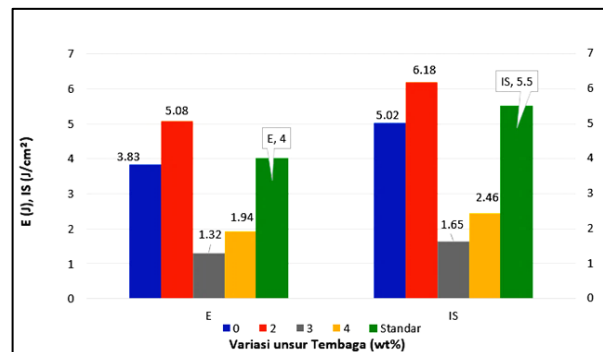
Gambar 5. Grafik hasil pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan Vickers, terlihat bahwa nilai kekerasan meningkat dengan bertambahnya persentase unsur tembaga dalam paduan A356, hal ini terjadi karena pada saat penambahan Cu semakin besar, Si mempunyai kecenderungan untuk mengikat membentuk suatu kelompok dan sebagian menyebar ke dalam matriks. Untuk nilai tertinggi pada penambahan unsur tembaga sebesar 2wt% sebesar 140,9 HVN dan nilai terendah pada paduan aluminium A356 tanpa penambahan unsur tembaga sebesar 96,67 VHN, hasil pengujian belum dapat memenuhi standar.

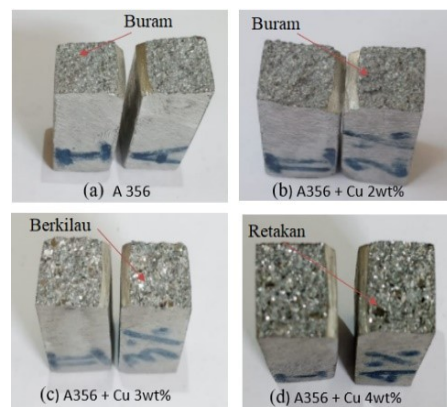
E. Sifat Keuletan Paduan Aluminium A356 Cor

Pada pengujian dampak menggunakan alat pengujian Hung Ta (JB S300) dengan berat pendulum 24 kg, panjang lengan pendulum 0,8 m dan sudut 147° (konstan), dengan prosedur pengujian mengacu pada standar ASTM E23 metode Charpy (balok sederhana). Hasil pengujian dampak diperlihatkan pada Gambar 6.

Hasil perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 dengan penambahan tembaga 2wt% adalah nilai yang optimum yaitu; $IS = 6,18 \text{ J/cm}^2$ sudah dapat memenuhi standar. Sedangkan untuk nilai terendah setelah penambahan tembaga 3wt% yaitu; $IS = 1,65 \text{ J/cm}^2$. Untuk karakteristik patahan diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian dampak



Gambar 7. Karakteristik patahan uji dampak

Hasil bentuk patahan dalam pengujian impak untuk paduan aluminium A356 baik sebelum dan sesudah penambahan variasi berat unsur tembaga, memperlihatkan bahwa semua spesimen uji patah getas (*brittle fracture*). Hasil dari patahan rata, berkilau, dan potongan dapat dipasangkan kembali, tidak terdapat deformasi dan patah menjadi dua bagian. Hal ini disebabkan oleh kekuatan batas butir yang lebih kuat dari kekuatan butir sehingga jalur patahan membelah butir-butir pada spesimen tersebut.

F. Hasil Pengujian Perbaikan Sifat Mekanis Paduan Aluminium A356 Cor

Hasil pengujian perbaikan sifat mekanis: UTS, TYS, *elongation*, *hardness*, dan IS, pada kondisi *cast* tanpa perlakuan panas dapat ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 8.

Hasil penelitian dari perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 dengan penambahan variasi berat tembaga yang diperlihatkan pada Gambar 8 antara lain:

1. Hasil pengujian tarik pada paduan aluminium A356 setelah penambahan 2wt% Cu adalah nilai yang optimum, yaitu $UTS = 228,22$ MPa, $TYS = 215,65$ MPa dan *Elongation* 5,7 sudah dapat memenuhi spesifikasi standar kualitas menurut *Standard American Racing Custom Wheels* (*preference* ISO 9001/QS 9000) yang mengacu pada standar ASTM B26/B108. Dan untuk nilai terendah pada penambahan unsur tembaga 4wt% dengan nilai ; $UTS = 83,104$ MPa, $TYS = 131,09$ MPa dan *Elongation* 2,07, tidak dapat memenuhi standar.

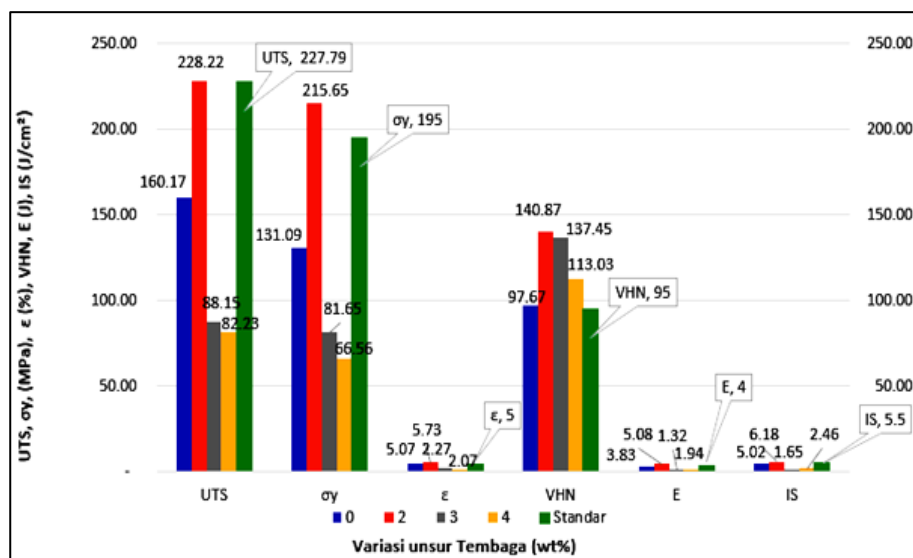
2. Hasil pengujian impak penambahan unsur Cu dapat menurunkan sifat keuletan bahan. Semakin besar paduan Cu yang ditambahkan, maka keuletan pada bahan akan semakin getas. Hasil pengujian nilai impak yang optimum adalah setelah penambahan Cu 2wt% sebesar $6,18$ J/cm² sudah dapat memenuhi standar, sedangkan nilai terendah setelah penambahan Cu 3 wt% sebesar $1,65$ J/cm².
3. Hasil pengujian kekerasan penambahan unsur Cu dapat meningkatkan sifat kekerasan dengan nilai tertinggi setelah penambahan Cu 2wt% sebesar 140,9 VHN dan nilai terendah pada paduan A356 tanpa penambahan unsur Cu sebesar 96,67 VHN, namun hasil penelitian belum dapat memenuhi standar sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan perlakuan panas (*heat treatment*).

G. Hasil Pengujian Metalografi

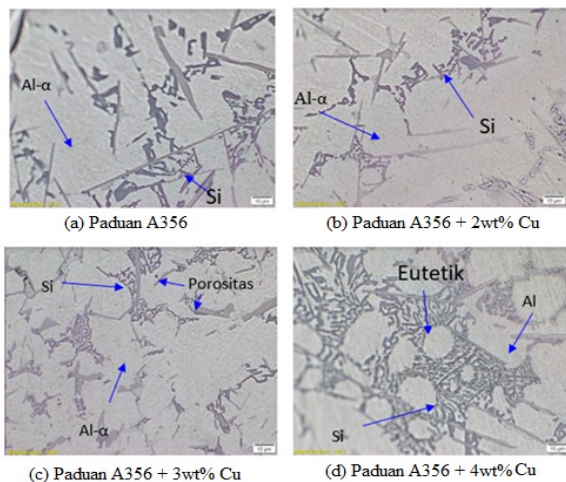
Menurut standar pengujian metalografi ASTM E3-11 untuk bahan aluminium dengan pembesaran 100x dan 500x diperlihatkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Tabel 2. Hasil perbaikan sifat mekanis paduan A356

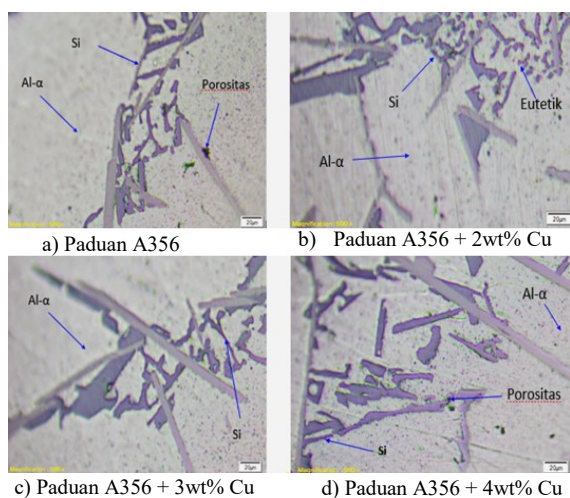
Unsur	UTS (MPa)	σ_y (MPa)	ϵ (%)	VHN	IS (J/cm ²)
Standar	227,79	195	5-7	60-95	5,5-6,8
A356	160,17	131,09	5,07	97,67	5,02
2%	228,22	215,65	5,73	140,87	6,18
3%	88,15	81,65	2,27	137,45	1,65
4%	82,22	66,55	2,07	113,03	2,46



Gambar 8. Grafik hasil perbaikan sifat mekanis paduan A356



Gambar 9. Hasil foto mikro pembesaran 100x



Gambar 10. Hasil foto mikro pembesaran 500x

Hasil foto mikro menunjukkan paduan aluminium A356 sebelum penambahan tembaga terlihat paduan Al-Si hypoeutektik yang dapat mengalir dengan baik bahkan dalam kondisi superheat yang rendah. Fase Al non-dendritik yang dikelilingi oleh struktur eutektik Al-Si, Al berwarna terang dan partikel silikon berwarna gelap. Terlihat paduan aluminium setelah penambahan Cu 2wt%, Al-Si tampak Al-α berwarna putih dan fasa eutektik berwarna gelap mengelilingi Al-α berbentuk dendritik dan menyebar tidak merata pada fasa eutektik Al-Si bentuk butir semakin halus. paduan aluminium setelah penambahan Cu 3wt%, hanya sedikit mempengaruhi mikrostruktur dari morfologi partikel autektik silikon, dimana terjadi perubahan pada bagian ujung dari partikel silikon. Partikel silikon setelah penambahan Cu terlihat lebih tumpul bila dibanding dengan material dasar [22]. Setelah penambahan Cu 4wt% fasa Al (berwarna terang) merupakan larutan padat primer, untuk AlSi (berwarna kelabu terang). Pada fasa ini terbentuk karena jumlah prosentase silikon (Si) lebih besar

dari tembaga (Cu) dan umumnya dapat meningkatkan kekerasan serta dapat menghambat laju korosi.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu: hasil pengamatan secara visual hasil produk coran (spesimen) terlihat tidak terdapat cacat coran yang berupa lubang. Hasil pengujian komposisi kimia setelah penambahan unsur Cu mengalami peningkatan pada unsur tembaga. Semakin besar penambahan unsur tembaga akan mengakibatkan kekuatan dan kekerasan semakin tinggi namun getas terlihat pada hasil perbaikan sifat mekanis paduan aluminium A356 adalah penambahan Cu 2wt% merupakan nilai yang optimum. Untuk hasil kuat tarik $UTS = 228,22 \text{ MPa}$, $TYS = 215,65 \text{ MPa}$, $Elongation = 5,7$ dan $IS = 6,18 \text{ J/cm}^2$ sudah dapat memenuhi spesifikasi standar dan nilai kekerasan = 140,9 VHN belum dapat memenuhi. Untuk nilai terendah adalah penambahan Cu 4wt% yaitu $UTS = 82,22 \text{ MPa}$, $TYS = 66,55 \text{ MPa}$, $Elongation = 2,07$, Kekerasan = 113,03 VHN dan $IS = 2,46 \text{ J/cm}^2$. Dan hasil pengujian struktur mikro dapat dilihat bahwa Al-Si tampak Al-α berwarna putih dan fasa eutektik berwarna gelap mengelilingi Al-α berbentuk dendritik dan menyebar tidak merata pada fasa eutektik Al-Si bentuk butir semakin halus. Cacat coran masih mendominasi pada setiap penambahan unsur Cu terhadap paduan aluminium A356, disebabkan pengaruh dengan adanya proses pengadukan saat pencampuran bahan dan proses penuangan yang kurang baik, sehingga perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan perlakuan panas (*heat treatment*) untuk mendapatkan nilai yang optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada semua pihak yang turut membantu pada penelitian ini. Terimakasih kepada Ibu Pritadewi Basoekei sebagai Kepala Laboratorium Karakteristik dan Rekayasa Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Katolik Indonesia Atmajaya Cisauk-Tangerang atas fasilitas yang diberikan, Terimakasih juga kepada bapak Ujang Rukmana sebagai Manager Produksi atas fasilitas Laboratorium Material PT. BAI Cikupa-Tangerang untuk peleburan logam dan pengujian komposisi kimia.

REFERENSI

- [1] T. Surdia and S. Saito, *PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK*, 4th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 1984.
- [2] M. A. Shomad and A. A. Jordianshah, "Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium pada Paduan Aluminium dari Bahan Piston Bekas," *Teknoin*, vol. 26, no. 1, pp. 75–82, 2020.
- [3] F. R. Pris, B. M. Suyitno, and A. Suhadi, "Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc Dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element," *J. Ilm. TEKNOBIZ*, vol. 9, no. 2, pp. 33–39, 2017.
- [4] H. Subiyanto, S. Hadi, M. Mursid, and A. Pradityana, "Studi Eksperimen Pengaruh Penambahan Magnesium Dan Perlakuan Panas T 6 Terhadap Kualitas Velg Mobil Paduan Aluminium A356.0," *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol.*, pp. 304–309, 2019.
- [5] ASTM B26/B26M, "Standard Specification for Aluminum-Alloy Sand Castings," 2018.
- [6] ASTM B108/108M-08, "Standard Specification for Aluminum-Alloy Permanent Mold Castings," 2009.
- [7] S. Suhariyanto, M. Mursid, E. Widiyono, S. Hadi, and A. Anzip, "Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356.0 Dengan Cara Menambahkan Cu Dan Perlakuan Panas T5", *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. III 2015*, vol. 3, pp. 23–25, 2015.
- [8] S. Suhariyanto, "Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC", *J. Tek. Mesin*, vol. 3, pp. 20–24, 2003.
- [9] A. Anzip and Suhariyanto, "Peningkatan Sifat Mekanik Paduan Aluminium A356 . 2 dengan Penambahan Manganese (Mn) dan Perlakuan Panas T6", *Tek. Mesin*, vol. 8, pp. 64–68, 2006.
- [10] S. Suherman and F. Fahrizal, "Pengaruh Penambahan Mn Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Paduan Al-10Si Dengan Metode Lost Foam Casting", *Momentum*, vol. 13, no. 1, pp. 21–26, 2017.
- [11] S. Suherman, S. Sarjianto, N. Bahri, I. Ilmi, and A. Sai'in, "Penambahan Sr pada Aluminium Paduan A356 dengan Metode Lost Foam Casting (LFC)", *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 6-14, 2021.
- [12] A. Achmadi, "Penaruh Penambahan Al-TiB Terhadap Kekuatan & Keuletan Produk Pengecoran Sentrifugal Velg Alumunium A 356", *SIMETRIS*, vol. 11, no. 1, pp. 14–18, 2017.
- [13] S. Suherman, "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", *Momentum*, vol. 10, no. 1, pp. 10–13, 2014.
- [14] J. Davis, *ASM Specialty Handbook : Aluminum and Aluminum Alloys*. ASM International, 1993.
- [15] W. Anderson, H. Rudianto, and D. Haryadi, "Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si", *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, vol. 23, no. 2, pp. 146–154, 2018.
- [16] F. Paundra, T. Triyono, and W. P. Raharjo, "Cu Addition Effect Analysis On Matrix Of Remelting Piston Aluminium Composite With Silica Sand Reinforcement To The Impact Strength And Micro Structure On Aluminium Matrix Composite Using Stir-Casting Method," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 16, pp. 20–25, 2017.
- [17] E. Santoso, M. Nafi, P. Studi, T. Mesin, and F. Teknik, "Analisa Pengaruh Variasi Penambahan Cu Dan Waktu Struktur Mikro", *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 6–11, 2019.
- [18] U. Lesmanah and M. Basjir, "Analisis Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Panambahan Tembaga Terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Alumunium", *J. Tek. Mesin*, no. 1, pp. 32–36, 2019.
- [19] Suherman and Paisal Ridwan, "Effect of Cu Addition on Microstructure , Hardness and Fluidity of Aluminium Effect of Cu Addition on Microstructure , Hardness and Fluidity of Aluminium Alloy Al-10Si", *Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, no. September, pp. 108–115, 2020.
- [20] T. Bogdanoff and J. Dahlström, "The influence of copper on an Al-Si-Mg alloy (A356) - Microstructure and mechanical properties, Jönköping University, 2009.
- [21] ASTM E407-99, "Standard Practice for Microetching Metals and Alloys 1", pp. 1–21, 2015.
- [22] Syahputra and Suherman, "Pengaruh Penambahan CU Dan Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Alumunium Paduan A356", *J. Din.*, vol. II, no. December, p. 8, 2014.