



Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Tembaga

Pada Pengecoran Ulang Alumunium Limbah Otomotif Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Bahan

Yoyok Winardi¹⁾, Nanang Suffiandi²⁾, Moch. Aziz Zulian Syah³⁾, Sudarno⁴⁾, Rizal Arifin⁵⁾

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Ponorogo,

Jl. Budi Utomo No. 10, Ronowijayan, Kecamatan Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur

Kode Pos 63471

e-mail: azizzuliansyah018@gmail.com

ABSTRAK

Alumunium merupakan salah satu bahan yang sering digunakan dalam komponen otomotif, salah satunya adalah velg. Untuk memperbaiki sifatnya dipadukan unsur lainnya yaitu tembaga bertujuan untuk mengetahui pengaruh sifat fisik dan mekanik paduan alumunium tembaga. Salah satu cara mengatasi limbah alumunium adalah dengan cara mendaur ulang. Variasi penambahan tembaga yaitu 5% 15%. Teknik pengecoran yang digunakan cetakan pasir, kemudian dilakukan penelitian dengan menggunakan empat pengujian yaitu kekuatan tarik, kekerasan bahan, struktur mikro, dan komposisi. Dari penelitian yang sudah dilakukan diperoleh hasil pada uji komposisi yaitu terjadi penurunan unsur silikon (Si), mangan (Mg), titanium (Ti), alumunium (Al) dan Timah (Sn) setelah dilakukannya pengecoran ulang, namun terjadi peningkatan unsur besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), kromium (Cr), nikel (Ni) dan timbal (Pb) itu sendiri mengalami peningkatan dibandingkan sebelum dicor ulang karena terjadi penguapan pada saat pengecoran alumunium. Pada struktur mikro terdapat perbedaan kerapatan susunan butir terdapat setelah pengecoran ulang begitu pula pada uji tarik terjadi peningkatan tingkat kekerasan dengan rata-rata hasil sebelum dipadukan tembaga dan dicor ulang 6,49 BHN sedang yang sudah dipadukan tembaga dan dicor ulang 6,73 BHN. sedangkan uji tariknya terdapat sedikit perbedaan hasil dari setiap spesimen, dari spesimen kekuatan tarik maksimum paduan Al-Cu tertinggi diperoleh pada paduan 15% dengan nilai kekuatan tarik 107,77 Mpa. dan kekuatan tarik minimum paduan Al-Cu terendah diperoleh pada paduan Al-Si 105,79%.

Kata Kunci: Alumunium, Pengecoran ulang, Limbah otomotif

ABSTRACT

Aluminum is a material that is often used in automotive components, one of which is wheels. To improve its properties, it is combined with other elements, namely copper, to determine the effect of the physical and mechanical properties of aluminum-copper alloys. One way to deal with aluminum waste is by recycling it. Variation of the addition of copper is 5% 15%. The casting technique used was sand mould, then a study was carried out using four tests, namely tensile strength, material hardness, microstructure, and composition. From the research that has been done, the results obtained in the composition test are that there is a decrease in the elements of silicon (Si), manganese (Mg), titanium (Ti), aluminum (Al) and tin (Sn) after re-casting, but there is an increase in the element iron (Fe).), copper (Cu), manganese (Mn), zinc (Zn), chromium (Cr), nickel (Ni) and lead (Pb) themselves have increased compared to before they were cast again due to evaporation during aluminum casting. In the microstructure, there is a difference in the density of grain arrangement that occurs after re-casting as well as in the tensile test there is an increase in the level of hardness with the average yield before being combined with copper and re-casting 6.49 BHN while that which has been combined with copper and re-casting is 6.73 BHN. while the tensile test there was a slight difference in the results of each specimen, from the specimen the highest maximum tensile strength of Al-Cu alloy was obtained in 15% alloy with a tensile strength value of 107.77 Mpa. and the lowest minimum tensile strength of Al-Cu alloy was obtained in 105.79% Al-Si alloy.

Keywords: Aluminum, Re-casting, Automotive waste

1. Pendahuluan

S. Rasyid and M. M (2017) berpendapat bahwa alumunium merupakan logam ringan, tahan korosi, penghantar listrik dan panas yang baik. Logam ini banyak digunakan untuk berbagai macam peralatan seperti bodi dan komponen, peralatan rumah tangga, kontruksi bangunan dan lain sebagainya. Tetapi alumunium (Al) juga memiliki banyak kekurangan diantaranya sifat dasarnya lunak, titik lebur yang rendah. Untuk mengatasi hal ini maka dalam proses pengecoran dicampur dengan material lain untuk meningkatkan sifat-sifat dari alumunium (Al) tersebut baik fisik maupun mekanik. material tersebut bisa berupa tembaga(Cu), silikon(Si), mangan (Mn), magnesium (Mg), seng (Zn), dan lain sebagainya[1]

Pengecoran logam merupakan teknik klasik yang banyak digunakan untuk membuat suatu produk. Berbagai produk kendaraan dibuat dengan cara pengecoran. Menurut Wicaksono B. A (2010) Salah satu teknik pengecoran yang banyak digunakan adalah dengan metode sand casting. Metode sand casting ini sangat sederhana karena menggunakan pasir sebagai cetakannya. Produk dengan bentuk yang sederhana sangat mudah di buat dengan metode

sand casting, bahkan sampai bentuk yang rumit sekalipun.[2]

Mandala M dan Siradj E. S (2016) melakukan penelitian bahwa peningkatan jumlah alat transportasi khususnya sepeda motor di Indonesia semakin meningkat dari tahun ke tahun. Dampak dari pemakaian kendaraan tersebut, maka akan menimbulkan kerusakan komponen. Akibat dari kerusakan, maka akan muncul limbah otomotif hasil dari penggantian komponen. Salah satu terobosan yang bisa mengurangi limbah otomotif adalah dengan menerapkan atau melaksanakan metode 3R (*Reduce*) pengurangan pemakaian, (*Reuse*) pemakaian ulang, dan (*Recycle*) mendaur ulang namun nampaknya *recycle* / daur ulang menjadi cara yang efektif untuk menangani limbah otomotif tersebut. Dengan cara daur ulang maka bisa dibentuk produk lain yang lebih bermanfaat. Namun metode ini tidak serta merta menimbulkan masalah, sifat dari produk daur ulang tersebut akan berbeda dari aslinya. [3]

Menurut Sigit F.T (2006) Salah satu cara untuk meningkatkan sifat dari limbah alumunium dapat dipadukan dengan unsur lain seperti contohnya tembaga. Adapun sifat-sifat tembaga itu sendiri ialah unsur yang mudah dibentuk, lunak, dan konduktor

panas listrik yang bagus. Dari sifat tembaga tersebut jika dipadukan dengan aluminium maka akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik dari aluminium itu sendiri. Selain itu juga ada dampak buruk dari penambahan tembaga pada aluminium antara lain menurunkan ketahanan korosi serta keuletan bahan[4].

Dalam waktu dekat ini banyak yang melakukan penelitian terhadap penambahan unsur paduan dalam pengecoran aluminium, seperti yang dilakukan oleh Juriani I (2019)[5] meneliti tentang pengaruh penambahan logam seng (Zn) untuk mengetahui sifat fisik, dan mekanik pada paduan aluminium. komposisi seng (Zn) divariasikan pada 0%, 10%, 30%, dan 40%. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa nilai densitas naik dengan adanya penambahan komposisi seng (Zn) dan meningkatnya suhu sintering. Nilai densitas tertinggi diperoleh suhu sintering 650°C yaitu 2,79 gr/cm. Untuk pengujian porositas memperlihatkan nilai porositas dengan penambahan komposisi seng (Zn) sampai dengan 10% cenderung menurun, tetapi untuk komposisi diatas 10% cenderung meningkat pada setiap suhu sintering. Nilai porositas terendah diperoleh pada komposisi seng (Zn) 10% pada suhu sintering 550°C yaitu 1,14%.

G. Rifki Eka (2012) [7] menganalisa tentang pengaruh aluminium silikon (Al-Si) dan tembaga (Cu) dengan perbandingan velg sprint. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dengan metode sand casting dan aluminium velg sprint. Material utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium paduan yang berasal dari daur ulang aluminium bekas yang dilebur di dalam dapur krusible tipe ciduk dan di cetak di dalam cetakan pasir dan

aluminium velg sprint. Dari hasil pengujian pada aluminium paduan silikon tembaga (Al-Si-Cu) hasil pengecoran diperoleh harga kekuatan tarik rata-rata yaitu 93.8 N/mm². Pada pengujian impak energi yang diserap rata-rata adalah 1.47 Joule, harga impak rata-rata 0,0185 (J/mm²). Komposisi kimia aluminium paduan silikon tembaga (Al-Si-Cu) hasil pengecoran didapat kandungan unsur-unsur utama yaitu aluminium (Al) = 87.58%, silikon (Si) = 7.93%, tembaga (Cu) = 2.8030% dan seng (Zn) = 0,1894%. Sedangkan pada aluminium velg sprint kekuatan tarik rata-rata yaitu 171.2 N/mm², pada pengujian impact energi serap rata-rata 2.29 Joule, harga impact rata-rata 0.022 J/mm². Komposisi kimia aluminium velg sprint didapat kandungan unsur-unsur utama yaitu aluminium (Al) = 87.16%, silikon (Si) = 9.95%, tembaga (Cu) = 2.0370%, dan seng (Zn) = 0.0369%.

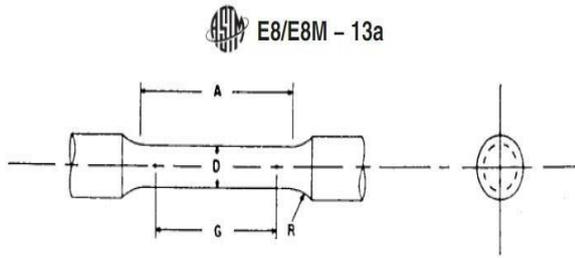
Dari latar belakang di atas maka dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk tembaga terhadap sifat fisik dan mekanis pada pengecoran ulang aluminium limbah otomotif.

2. Metode

Menurut penelitian oleh (S. Setyawan 2006) metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yaitu metode penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dalam kondisi yang terkontrol dengan penambahan unsur aluminium paduan tembaga (Al-Cu). Dalam penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif yaitu dengan memaparkan secara jelas hasil eksperimen yang diperoleh dari sejumlah benda uji dalam bentuk angka-angka.

Pembuatan spesimen pada penelitian ini akan melalui beberapa proses antara lain :

a. Spesimen Uji Tarik



A.M.R Magnadine (2021) mengatakan bahwa pembuatan spesimen pengujian tarik pada hasil pengecoran ulang alumunium limbah otomotif ini menggunakan standarisasi ASTM E8/E8M dengan ukuran spesimen, panjang benda uji 200 mm, diameter benda uji 13 mm, setelah bahan baku dicor ulang lalu dipotong dan dibubut untuk membuat bentuk ukuran yang diinginkan sesuai dengan gambar 3.1 dengan keterangan A = 56 mm, D = 12 mm, G = 50 mm, R = 9,5 mm [12].

Adapun persamaan yang digunakan dalam perhitungan kekuatan tarik sebagai berikut:

$$\sigma\mu = \frac{\rho\mu}{A_0} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- $\sigma\mu$ = Tegangan tarik maksimal (MPa).
- P_u = Beban tarik (KN)
- A_0 = Luas awal penampang (mm²).

Tabel 3.1 Variasi Bahan Paduan Serbuk Tembaga

Alumunium (Al)	Variasi Penambahan Tembaga	Jumlah Sampel
95%	5%	2
85%	15%	2

Proses pengecoran diawali dengan mempersiapkan alat tungku peleburan serta cetakan, kemudian bahan alumunium limbah otomotif dipotong sedemikian rupa agar dapat dimasukkan tungku peleburan, sebelum alumunium paduan tembaga dicairkan atau dilebur pastikan menimbang sesuai variasi penambahan yaitu 5% 15%. Pada cetakan maka harus sesuai dengan bentuk spesimen pengujian yang sudah di desain sedemikian rupa.

b. Spesimen uji kekerasan

Adapun persamaan yang digunakan dapat dilihat dari persamaan dibawah ini :

$$BHN = \frac{\rho}{\frac{\pi}{2}\sqrt{D - D_2 - d}} = \frac{\rho}{\pi Dt} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana

- BHN = Nilai kekerasan brinell
- P = Gaya yang diujikan (kgf)
- D = Diameter dari bola indentor (dalam mm)
- d = Diameter dari indensitas yang dihasilkan (dalam mm)
- g = Gravitasi = 9,81 m/s²

d. Spesimen uji struktur mikro

Pembuatan spesimen pengujian struktur mikro hasil pengecoran ulang alumunium limbah ottomotif dibuat sedemikian rupa untuk memudahkan proses penghalusan sebelum pengujian. Bahan uji dipotong dengan ukuran panjang 30 mm serta lebar 30 mm. Setelah bahan dipotong sesuai ukuran lalu dibuatkan mounting atau dudukan kemudian diampelas dan dipoles sehalus mungkin untuk memudahkan dalam pengujian.

e. Spesimen uji komposisi

Pembuatan spesimen pengujian komposisi pada hasil pengecoran ulang alumunium limbah

otomotif ini digunakan untuk uji komposisi dengan ukuran spesimen panjang 40 mm, lebar 40 mm. Bahan yang sudah dipotong kemudian dihaluskan dengan amplas sehalus mungkin.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan Campuran

Untuk perbandingan percampuran pada pembuatan spesimen ini dengan standart ASTM E8.

Pembuatan sampel uji tarik berbahan campuran serbuk tembaga, oleh karena itu penulis dalam penelitian ini dapat menganalisa dari sifat mekanik yang ditinjau dari kekuatan tarik dan analisa struktur mikro. Proses uji tarik dilakukan dengan cara menarik spesimen secara maksimal sampai putus guna mengetahui sifat keuletan dari material alumunium campuran serbuk tembaga tersebut, kemudian dilakukan pengamatan pada patahan menggunakan struktur mikro guna mengetahui keterikatan antara tiga bahan campuran tersebut. %.

Dari semua sampel yang terbagi menjadi tiga kelompok tersebut akan dicetak menggunakan metode cetakan pasir (*sand casting* dan *sand mold casting*) [13].

4.1. Pengujian Tarik

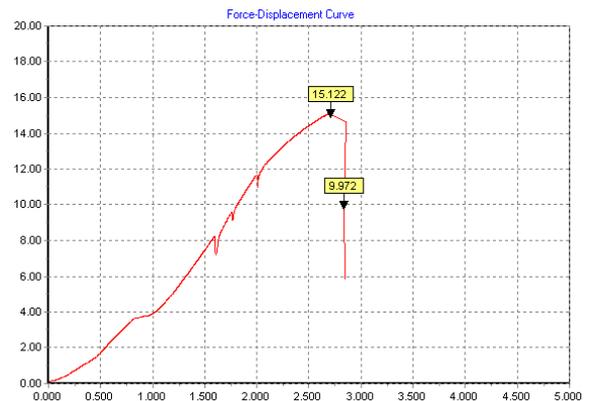


Gambar 4.1. Gambar Spesimen Pengujian Tarik

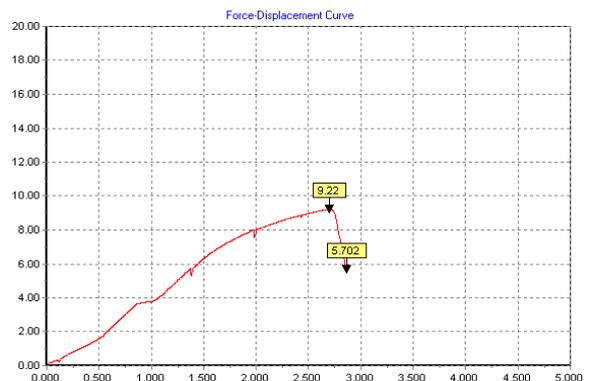
Tabel 4.2 Hasil Uji Tarik

Paduan	(Mpa)	ε
Al 95% - Cu 5%	107,95	0,0045
Al 85% - Cu 15%	107,77	0,0283

Tabel 4.5 di atas adalah hasil dari uji tarik alumunium limbah otomotif dengan menganut standarisasi ASTM E8M. Dari tabel tersebut dapat diketahui dari hasil masing-masing spesimen, terdapat sedikit perbedaan dari hasil setiap Persentase penambahan tembaga adalah sebelum dilakukan peleburan. dari pengujian tarik dengan variasi, Paduan Al 95% - Cu 5% dari pengujian tarik dengan variasi Al 90% dan Cu 15% dari pengujian tarik dengan variasi Al 85% dan Cu 15%.



Gambar 4.2 Grafik Uji Tarik



Gambar 4.3 Grafik Nilai pada Tegangan

Tegangan uji tarik merupakan beban (P) dibagi dengan luas penampang (A) pada spesimen, maka hasil

perhitungan tegangan pada setiap variabelnya sama, dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma = \frac{P\mu}{A_0}$$

Dimana :

σ = Tegangan (MPa)

P = Beban pada pengujian (N)

A = Luas penampang (mm²)

Nilai tegangan masing-masing paduan adalah :

1. Paduan Al 95% - Cu 5%

$$\sigma\mu = \frac{P\mu}{A_0} = \frac{11972}{112.6} = 105,79 \text{ Mpa}$$

2. Paduan Al 85% - Cu 15%

$$\sigma\mu = \frac{P\mu}{A_0} = \frac{11892}{111.1} = 107,77 \text{ Mpa}$$

Nilai regangan yang diambil dari nilai panjang setiap spesimen yang diuji, maka nilai regangan dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Dimana :

ϵ = Regangan (%)

L = Panjang akhir

L₀ = Panjang awal

ΔL = perpanjangan (pertambahan panjang)

Maka nilai regangan untuk masing masing paduan adalah

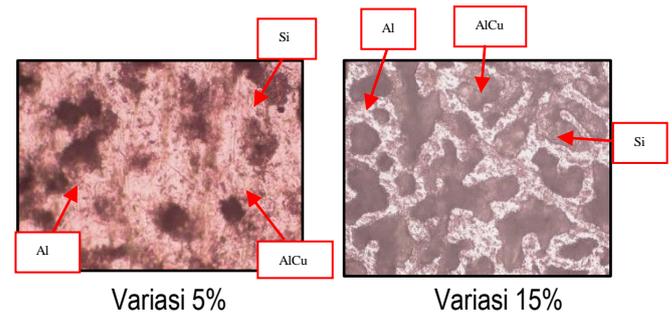
- 1) Aluminium paduan tembaga 5%

$$\text{Maka } \epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} + \frac{30,129-30}{30} = 0,0043\%$$

- 2) Aluminium paduan tembaga 15%

$$\text{Maka } \epsilon = \frac{l-l_0}{l_0} + \frac{30,85-30}{30} = 0,0283\%$$

4.2 Hasil Uji Struktur Mikro



Gambar 4.4 Struktur Mikro

Gambar 4.1 (a) (b) adalah spesimen aluminium sesudah dicor ulang dengan beberapa variasi paduan tembaga sebesar 5% 15% dan ukuran aluminium keseluruhan 95% 85% terlihat pada gambar 4.1. Butir yang berwarna terang adalah unsur Al sedangkan yang berwarna gelap adalah unsur Si.

Bahwa dapat dilihat dengan jelas perbedaan kerapatan butirnya, aluminium sebelum dipadukan dengan tembaga memiliki struktur butir yang lebih rapat dan penyebaran butir Si yang merata, sedangkan pada aluminium sesudah dipadukan dengan tembaga cenderung tidak rapat dan lebih banyak unsur Cu. Mengacu pada hasil uji struktur mikro pada gambar 4.1 (a) struktur mikro spesimen variasi 5% didominasi oleh warna terang yang merupakan matriks Al dan sisanya merupakan larutan padat Si berwarna gelap. Sedangkan pada gambar 4.1 (b) variasi 15% terjadi perubahan susunan dimana cenderung lebih banyak butir tembaga dan warna terang yaitu aluminium (Al) sisanya silikon (Si) Sedangkan pada gambar 4.1 Dapat disimpulkan bahwa setiap penambahan tembaga mempengaruhi bentuk struktur karena adanya pengaruh komposisi tembaga pada material dan pengadukan saat pencampuran bahan pengadukan tersebut dapat membentuk butiran-butiran kecil yang menyebar sehingga akan mempengaruhi sifat mekanik material

4.3 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk

mengetahui tingkat kekerasan dari bahan aluminium limbah otomotif baik sebelum dicor dengan penambahan tembaga maupun sesudah dicor ulang dengan penambahan tembaga, Adapun jarak titik pengambilan pengujian spesimen dibuat dengan ukuran 30x30 mm seperti pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Spesimen uji kekerasan

Setelah dilakukan pengujian kekerasan maka hasilnya ditunjukkan pada tabel 4.3 dan tabel 4.4

Tabel 4.3 Hasil Uji Kekerasan Variasi 5% Cu

Uji	1	2	3	4	5	Rata-rata
Nilai kekerasan brinell	6,51	6,81	6,55	6,75	6,65	6,69

Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan Variasi 15% Cu

Uji	1	2	3	4	5	Rata-rata
Nilai kekerasan brinell	6,53	6,77	6,64	6,90	6,74	6,73

Berdasarkan pengamatan pada hasil uji kekerasan terdapat peningkatan nilai kekerasan jika dilihat dari rata-rata hasil pengujian dari masing-masing spesimen memperoleh hasil rata-rata pada spesimen sebelum dicor mencapai 6,49 BHN [12]. Setelah di cor ulang dengan penambahan unsur tembaga maka terdapat peningkatan nilai kekerasan. Peningkatan tertinggi terdapat pada variasi 15% dari beberapa tabel yaitu mencapai 6,73 BHN.

Peningkatan nilai kekerasan dapat dikarenakan dipadukan serbuk tembaga sehingga bahan saat akan dicor ulang menghasilkan keuletan yang baik, merujuk pada hasil uji komposisi pada tabel 4.1 diatas dapat diketahui bahwa adanya peningkatan unsur Cu pada spesimen variasi 15% meningkatnya unsur Cu dapat

mempengaruhi nilai kekerasan pada aluminium.[9]

Meningkatnya nilai kekerasan yang terjadi dapat disebabkan oleh kerapatan butir unsur penyusunnya [3]. Merujuk pada hasil uji mikro pada gambar 4.2 (a) struktur mikro variasi 5% terlihat bahwa memiliki kerapatan yang lebih baik dan penyebaran butir Si yang lebih merata dibandingkan dengan gambar 4.2 (b) struktur mikro variasi 15% terlihat bahwa terjadi banyak berkurangnya kerapatan Al. Pada hasil uji mikro variasi 15% tersebut didominasi unsur Al-Cu berbentuk butir-butir tersebut sehingga dapat mempengaruhi nilai kekerasannya.

4.4 Hasil Uji Komposisi

Uji komposisi ditujukan untuk mengetahui presentase komponen/unsur penyusun logam spesimen. Adapun hasil pengujian masing-masing ditujukan pada tabel 4.1, tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Spesimen Sesudah Dicor Ulang Dengan Variasi 5% Tembaga

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	1,63	0,47	2,21	≤0,00	0,45	0,02	0,01	0,76	0,04	0,06	0,03	94,19

Tabel 4.2 Hasil Uji Komposisi Spesimen Sesudah Dicor Ulang Dengan Variasi 15% Tembaga

Unsur	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
%	1,43	0,32	5,98	≤0,00	0,43	0,79	0,04	≤0,00	0,00	0,01	0,05	90,86

Tabel tabel tersebut dapat diketahui adanya peningkatan dan penurunan unsur penyusun material sebelum dan sesudah dicor ulang, tabel 4.1 4.2 adalah hasil uji komposisi bahan dicor ulang dengan paduan serbuk tembaga 5% 15% yang diambil dari penelitian sebelumnya [12]

Dari tabel tersebut diketahui terjadi peningkatan dan penurunan dari beberapa unsur yaitu unsur silikon (Si), magnesium (Mg), titanium (Ti), aluminium (Al) dan timah (Sn) setelah dilakukannya pengecoran ulang terhadap aluminium limbah otomotif, namun terjadi peningkatan dan

penurunan dari beberapa unsur yakni besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), seng (Zn), kromium (Cr), nikel (Ni) dan timbal (Pb) dibandingkan sebelum dicor ulang. Unsur yang paling dominan pada hasil uji komposisi di atas adalah unsur Al sebanyak 94,19% dan unsur Cu sebanyak 5,98% berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa bahan utamanya merupakan alumunium dan tembaga yang sering disebut Al-Cu. Paduan alumunium tembaga termasuk paduan cor yang diberi kode seri 3xx.x dengan pembahasan unsur Cu didalam daur ulang meningkatkan unsur Cu hingga 5,98%. Tetapi unsur Si terjadi peningkatan dan penurunan dari beberapa pengujian komposisi diduga karena terjadi penguapan saat proses peleburan [14].

4. Kesimpulan

Penelitian ini ditujukan untuk menyelidiki pengaruh penambahan unsur tembaga pada daur ulang alumunium limbah otomotif, berdasarkan data hasil penelitian ini bisa disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada hasil analisa komposisi variasi 15% terdapat unsur Al sebanyak 94,19% dan unsur Cu sebanyak 5,98%. Berdasarkan hasil ini dapat dikatakan bahwa bahan utamanya merupakan alumunium dan tembaga yang sering disebut Al-Cu. Paduan alumunium tembaga termasuk paduan cor yang diberi kode seri 3xx.x dengan pembahasan unsur Cu didalam daur ulang meningkatkan unsur Cu hingga 5,98%. Berdasarkan hasil pengamatan kekerasan memperoleh hasil di variasi 15% : 85% dengan rata-rata tertinggi mencapai 6,73 BHN. Pada hasil pengamatan struktur mikro dapat diperoleh bahwa pada gambar 4.1 (b) struktur mikro variasi 15% memiliki perubahan yang sangat berbeda sehingga dapat mengakibatkan peningkatan tertinggi pada hasil uji komposisi sebanyak 5,98%.

Hasil kekuatan tarik terdapat sedikit perbedaan hasil dari setiap spesimen, dari spesimen kekuatan tarik maksimum paduan Al-Cu tertinggi diperoleh pada paduan 15% dengan nilai kekuatan tarik 107,77 Mpa dan kekuatan tarik minimum paduan Al-Cu terendah diperoleh pada paduan Al-Cu 105,79%.

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terutama kepada :

1. Seluruh anggota lab Universitas Muahmmadiyah Ponorogo
2. Seluruh teman teman seangkatan 2017

Daftar Pustaka

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Castaño, "Neurobiological bases of language and its disorders," *Revista de Neurologia*, vol. 36, no. 8. pp. 781–785, 2003.
- [2] E. Sugawara and H. Nikaido, "Properties of AdeABC and AdeIJK efflux systems of *Acinetobacter baumannii* compared with those of the AcrAB-TolC system of *Escherichia coli*," *Antimicrob. Agents Chemother.*, vol. 58, no. 12, pp. 7250–7257, 2014,
- [3] M. Mandala, dkk, "Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Alumunium (Al-Si) Pada Proses Pengecoran Menggunakan Cetakan Logam, Cetakan Pasir Dan Cetakan Castable," vol. 14, no. 2, p. 88, 2017,
- [4] F. Sigit, "Pengaruh Kadar Tembaga terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Al-Si," pp. 1–38, 2006.
- [5] S. Grace Bahagiarni, "Analisis Perilaku Beresiko Pada Pekerja Pengecoran Di Jalan Mahkamah," *J. Pembang. Wil. Kota*, vol. 1, no. 3, pp. 82–91, 2012.
- [6] S. Kirono, dkk, "Analisa Sifat Karakteristik Blok Silinder Liner Bahan Aluminium Silikon," *J. Tek. Mesin Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. 1., pp. 1–3, 2014.
- [7] G. Rifki Eka, "Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Pada Paduan Aluminium Silikon (Al-Si) dan Tembaga (Cu) Dengan Perbandingan Velg Sprint," 2012.
- [8] Samhuddin, B. Sudia dkk, "Studi Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Batubara (Fly Ash) dan Kaleng Minum Soft Drink sebagai Pengganti Materal Baja Ringan," *J. Tek. Mesin Univ. Halu Oleo*, vol. 2, no. 3, pp. 1–7, 2017.
- [9] H. Purwanto, "Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Aluminium Cor Dengan Cetakan Pasir," *Pros. Semin. Nas. UNIMUS*, pp. 273–277, 2010.
- [10] Supriyanto A., "Eksperimen Variasi Ukuran Butir Dan Tekanan Kompaksi Campuran Al-Si Terhadap Densitas Dan Porositas Metode Metalurgi Serbuk" vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2017.

- [11] Rachmadi F., "Pada Hasil Pengecoran Limbah Piston 2 Tak," *T. Mesin Univ. Muhammadiyah Malang*, 2021.
- [12] R. M. Andhika Maulana, "Analisa Sifat Fisik Dan Mekanik Hasil Pengecoran Ulang Aluminium Limbah Otomotif," 2021.
- [13] S. Setyawan, "Pengaruh Variasi Penambahan Tembaga (Cu) Dan Jenis Cetakan Pada Proses Pengecoran Terhadap Tingkat Kekerasan Paduan Aluminium Silikon (Al-Si)," *Fak. Kegur. Dan Ilmu Pendidik. Univ. Sebel. Maret Surakarta*, vol. 1, no. 2, pp. 1–60, 2006.
- [14] G. R. Atmaja, "Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu Pada Coran Aluminium," 2011.