

PENGARUH KECEPATAN PUTAR TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO HASIL PENGECORAN SENTRIFUGAL VERTIKAL PADUAN ALUMINIUM DENGAN PENAMBAHAN 3% TEMBAGA

Ilham Pangestu^{1*}, Wijoyo¹

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Universitas Surakarta, Surakarta, Indonesia

*Email: ilhampangestu00@gmail.com

ABSTRAK

Pengecoran sentrifugal merupakan pengecoran yang memanfaatkan putaran untuk memutar cetakan sehingga logam cair dapat mengisi cetakan. Unsur dengan massa jenis yang lebih tinggi akan terdorong ke sisi luar cetakan sedangkan massa jenis yang lebih rendah akan terdorong ke sisi dalam cetakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putaran terhadap sifat mekanik dan struktur mikro paduan Al-Si hasil *remelting* piston bekas yang ditambahkan dengan 3% tembaga. Proses pengecoran sumbu vertikal dilakukan dengan variasi kecepatan putaran 800, 1000, dan 1200 rpm, temperatur penuangan 800 °C dan suhu *pre-heat* cetakan 450 °C. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain pengamatan struktur mikro dan kekerasan brinell. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan nilai kekerasan tertinggi ada pada zona bagian 3 variasi kecepatan 1200 rpm yang nilainya sebesar 98,01 BHN, nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan zona bagian 1 variasi kecepatan 800 rpm yang nilainya 71,30 BHN. Hasil struktur mikro pada zona bagian 3 ukurannya kecil dan rapat, sedangkan pada zona bagian 1 ukuran butir cenderung besar dan renggang. Hasil uji komposisi kimia kandungan tembaga pada hasil pengecoran mengalami peningkatan yang sebelumnya 1,183% menjadi 3,741%.

Kata kunci: pengecoran sentrifugal; kecepatan putar; kekerasan; struktur mikro

ABSTRACT

Centrifugal casting is a type of casting that utilizes rotation to spin the mold so that molten metal can fill it. Elements with higher density will be pushed to the outer side of the mold, while those with lower density will be pushed to the inner side. This research aims to determine the effect of rotation speed on the mechanical properties and microstructure of remelted Al-Si alloy pistons with an addition of 3% copper. The vertical axis casting process was carried out with rotation speed variations of 800, 1000, and 1200 rpm, a pouring temperature of 800°C, and a pre-heat mold temperature of 450°C. The tests conducted in this research include microstructure observation and Brinell hardness testing. The microstructure observation results showed that the highest hardness value was in zone part 3 at a rotation speed variation of 1200 RPM, with a value of 98.01 BHN, higher than the hardness value in zone part 1 at a rotation speed variation of 800 RPM, which was 71.30 BHN. The microstructure results in zone part 3 showed small and dense grains, while in zone part 1, the grain size tended to be large and spaced apart. The chemical composition test showed increased copper content in the casting results from the previous 1.183% to 3.741%.

Keywords: centrifugal casting; rotation speed; hardness; microstructure

1. PENDAHULUAN

Pembuatan komponen mesin dalam dunia industri dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan proses pengecoran logam. Pengecoran logam merupakan proses pembentukan material dengan melelehkan bahan baku ke dalam tungku peleburan kemudian dituang ke dalam cetakan [1].

Proses pengecoran sendiri juga ada berbagai macam metode, salah satunya adalah teknik *centrifugal casting*. Prinsip dari pengecoran sentrifugal adalah menuangkan logam cair pada cetakan yang berputar pada sumbu [2]. Metode ini dapat digunakan untuk menghasilkan komponen berbentuk silindris, seperti *pulley*, *cylinder liners*, roda bahkan bentuk kompleks [3]. Hasil pengecoran sentrifugal memiliki fleksibilitas yang tinggi, porositas rendah, menambah ketahanan aus dan dapat memenuhi sifat spesifik pada bagian tertentu [4].

Centrifugal casting (pengecoran sentrifugal) adalah teknik pengecoran yang memanfaatkan gaya sentrifugal untuk mendapatkan sifat spesifik yang berbeda pada setiap bagian [5]. Terjadinya putaran pada cetakan akan menekan material dengan densitas tinggi ke arah paling luar dan densitas yang rendah akan menuju ke arah bagian dalam. Variasi ini akan menyebabkan perbedaan penyebaran material yang bergradasi dari bagian dalam menuju bagian luar [6].

Gaya sentrifugal berbanding lurus dengan kecepatan putaran sehingga dapat mempengaruhi laju pendinginan logam cair untuk mencapai homogenisasi suhu [4]. Hal ini membuat pendinginan logam cair menjadi bertahap dari bagian luar cetakan menuju ke pusat, hal inilah yang membuat laju pendinginannya lebih baik daripada pengecoran konvensional gravitasi [7].

Material yang sering digunakan pada proses pengecoran yakni Aluminium. Aluminium sering digunakan karena ringan, kuat, ulet, tahan karat, mudah diproses, densitasnya yang rendah ($2,70 \text{ g/cm}^3$) dan titik leburnya yang rendah (659°C) [8]. Pada dunia industri, aluminium yang sering digunakan berjenis Al-Si dikarenakan pada paduan Al-Si masih banyak unsur yang dapat ditambahkan seperti Si, Cu, Ni dan Mg yang dapat meningkatkan kinerja dan kekerasan komponen hasil cor [9].

Tembaga merupakan salah satu logam yang memiliki sifat lunak, ulet, mudah dibentuk, memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi dengan massa jenis $8,96 \text{ g/cm}^3$ [10]. Penambahan Cu secara signifikan meningkatkan kekuatan paduan Al-Si, karena presipitasi fase Al_2Cu (θ) yang tersebar selama proses penuaan. Kontribusi penguatan dari presipitasi umumnya merupakan fungsi dari distribusi ukuran presipitat dan fraksi volume [11].

Karena adanya gradasi paduan maka pengecoran sentrifugal adalah metode yang tepat untuk pembuatan FGM (*Functionally Graded Materials*) [3]. Laju pembekuan yang bertahap membuat karakteristik paduan berbeda sepanjang penampang jari-jarinya. Produk cor yang dihasilkan dengan metode ini mempunyai kelebihan yaitu arah pembekuan yang terarah (*directional solidification*) dari bagian diameter luar menuju ke diameter dalam [1][3].

Pada pengecoran, untuk meningkatkan sifat hasil cor terdapat beberapa cara, diantaranya dengan penambahan unsur tembaga ke dalam paduan Al-Si dan penggunaan metode pengecoran sentrifugal. Kecepatan putaran dalam pengecoran sentrifugal mempengaruhi produk hasil pengecoran sehingga nantinya akan dilihat pengaruhnya terhadap gradasi kekerasan hasil cor dengan penambahan 3% tembaga serta akan dilihat pengaruhnya terhadap struktur mikro serta visualisasi hasil cor.

2. METODE

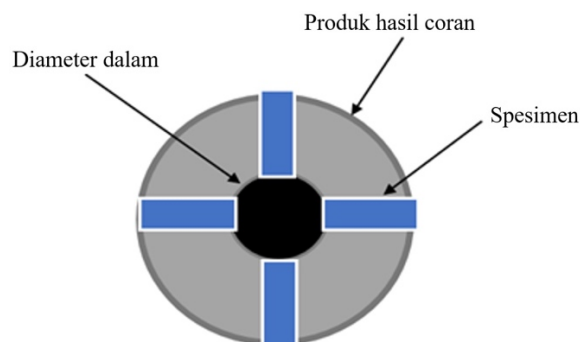
2.1. Metode

Metode yang digunakan didalam penelitian ini adalah studi eksperimental. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Universitas Sebelas Maret. Variabel dalam penelitian ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel terkontrol. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi kecepatan putar cetakan dengan kecepatan: 800, 1000, dan 1200 rpm. Variabel terikat dalam penelitian ini nilai kekerasan dan struktur mikro hasil pengecoran. Variabel terkontrol dalam penelitian ini, antara lain serbuk Cu yang digunakan sebanyak 3% dari fraksi massa aluminium, suhu *pre-heat* cetakan 450 °C, temperatur penuangan logam cair yaitu 800 °C, waktu putar cetakan selama 3 menit, pengujian kekerasan menggunakan uji kekerasan Brinell dengan standar ASTM E10 dan pengamatan metalografi menggunakan etsa *reagent keller* sesuai standar ASTM E407.

Pada penelitian dimulai dengan mempersiapkan semua peralatan dan bahan. Setelah itu memasang cetakan permanen pada mesin sentrifugal dan melakukan *pre-heat* cetakan hingga cetakan mencapai suhu 450 °C. Selanjutnya melakukan peleburan ingot aluminium hasil *remelting* piston hingga mencapai suhu 800 °C lalu masukkan tembaga (Cu) sebanyak 3% dari fraksi masa aluminium yang dilebur dan aduk hingga tercampur rata. Proses selanjutnya adalah pengecoran dengan mesin sentrifugal dengan variasi kecepatan 800, 1000, dan 1200 rpm dengan lama waktu putaran 3 menit. Metode pengecoran sentrifugal bertujuan untuk mendapatkan gradasi unsur antara paduan aluminium dan tembaga yang disebabkan oleh gaya sentrifugal. Proses selanjutnya adalah pembuatan spesimen hasil pengecoran untuk persiapan pengujian struktur mikro dan kekerasan Brinell. Hasil dari pengecoran sentrifugal dipotong melintang seperti tampak pada Gambar 2. Pada setiap benda cor dibagi menjadi 3 zona bagian dengan ukuran P x L x T yaitu 3 cm x 1 cm x 1 cm. Gambar 1 menunjukkan mesin putar sentrifugal.



Gambar 1. Mesin putar sentrifugal



Gambar 2. Pemotongan spesimen benda cor

Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini mengikuti standar ASTM E407 dengan menggunakan larutan etsa dengan komposisi: 2 ml HF + 3 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 190 ml aquades dan pengujian kekerasan metode Brinell menerapkan standar ASTM E-10. Diameter indenter sebesar 2,5 mm dengan pembebanan 62,5 kg dan waktu pembebanan 30 detik.

2.2. Bahan Penelitian

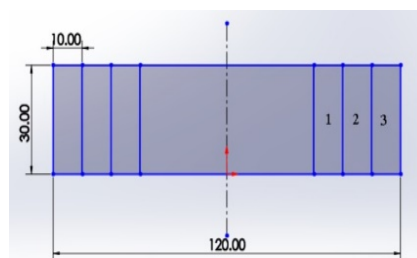
Penelitian ini menggunakan material paduan aluminium hasil *remelting* piston bekas dan serbuk tembaga sebagai bahan dasar penelitian. Piston bekas diangkat sebagai material penelitian karena material tersebut salah satu limbah otomotif yang dapat dimanfaatkan kembali dan dapat menghemat biaya. Peleburan ulang aluminium untuk pembuatan ingot dapat memperbaiki ukuran butir paduan aluminium [12]. Ingot yang terbentuk dari pengecoran ulang ini diuji komposisi kimia untuk mengetahui kandungan unsurnya. Pada penelitian ini menggunakan piston bekas yang dipisahkan dari ringnya. Sedangkan tembaga merupakan unsur logam yang memiliki sifat lunak, ulet, mudah dibentuk dan memiliki konduktivitas termal dan listrik yang tinggi [13]. Penambahan Cu secara signifikan meningkatkan kekuatan paduan Al-Si, karena presipitasi fase Al₂Cu (θ) yang tersebar selama proses penuaan. Kontribusi penguatan dari presipitasi umumnya merupakan fungsi dari distribusi ukuran presipitat dan fraksi volume [14]. Komposisi material disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi material

Material	Komposisi Kimia (% Berat)						
	Al	Fe	Si	Mn	Cu	Mg	Ni
Ingot Aluminium	Balance	0,582	10,25	0,113	1,183	0,786	0,77
Tembaga	-	0,018	-	-	Balance	-	-

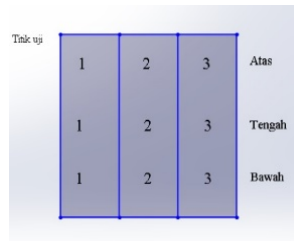
2.3. Skema Pengujian Spesimen

Gambar 3 merupakan skema pembuatan spesimen dari hasil pengecoran sentrifugal untuk persiapan pengamatan struktur mikro dan pengujian kekerasan Brinell. Setelah hasil pengecoran dipotong dengan ukuran dengan ukuran P x L x T yaitu 30 mm x 10 mm x 10 mm, kemudian permukaannya diratakan dan dihaluskan hingga permukaannya mengilap. Pengujian kekerasan dan struktur mikro akan dilakukan sepanjang penampang jari-jari spesimen dengan jarak antar titik dibatasi 5 mm dengan dibagi menjadi 3 zona bagian pada penampang horizontal dan 3 zona bagian pada penampang vertikal. Pengamatan struktur mikro pada penelitian ini mengikuti standar ASTM E407 dengan menggunakan larutan etsa *reagent keller*, 2 ml HF + 3 ml HCl + 5 ml HNO₃ + 190 ml aquades.



Gambar 3. Skema pengamatan struktur mikro

Selanjutnya untuk pengujian kekerasan Brinell menerapkan standar ASTM E-10. Diameter indenter sebesar 2,5 mm dengan pembebanan 62,5 kg dan waktu pembebanan 30 detik. Pengujian dilakukan pada 9 titik sepanjang penampang jari-jarinya dengan jarak 10 mm tiap titik pembebanannya seperti tampak pada Gambar 4.



Gambar 4. Titik uji kekerasan Brinell

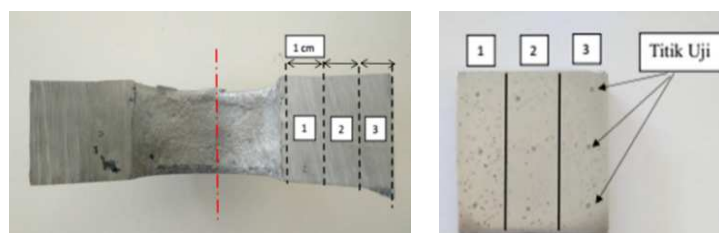
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengecoran Sentrifugal

Hasil pengecoran sentrifugal menghasilkan benda berbentuk piringan (*disk*) dengan bagian tengah diameter yang berongga. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5. Selanjutnya Persiapan spesimen uji dimulai dengan memotong benda hasil coran secara melintang sepanjang penampang jari-jarinya seperti Gambar 6. Pada setiap variasi kecepatan, spesimen dibagi menjadi 3 bagian untuk menunjukkan gradasi sepanjang penampang jari-jarinya. Setelah dipotong permukaan dalamnya dihaluskan dengan kikir dan ampelas lalu dilapisi dengan autosol untuk pengujian.



Gambar 5. Hasil pengecoran sentrifugal



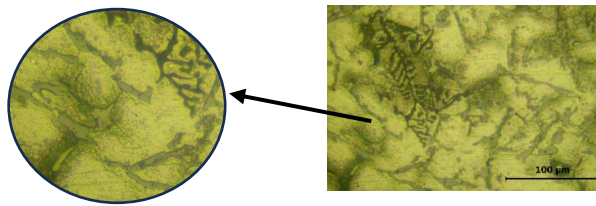
Gambar 6. Spesimen pengujian

3.2. Pengamatan Struktur Mikro

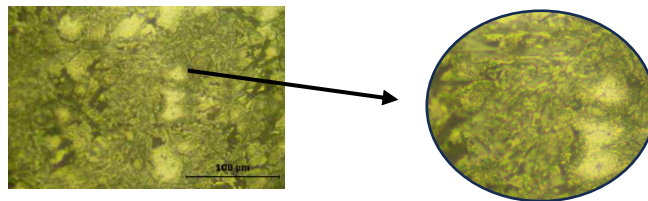
Pengamatan metalografi dilakukan untuk mendapat gambaran struktur mikro pada tiap spesimen khususnya untuk mengamati gradasi persebaran unsurnya sepanjang penampang jari-jarinya. Gradasi pengamatan metalografi dapat dilihat pada Gambar 7. hingga Gambar 9.

Fasa yang terbentuk dari pengecoran sentrifugal paduan Al-Si dengan penambahan tembaga adalah α -Aluminium, fasa Al-Si dan fasa Al₂Cu. Pada struktur mikro diketahui fasa Al-Si lebih mudah terlihat dan pada bagian sisi dalam spesimen sedangkan untuk fasa Al₂Cu terlihat pada zona bagian 2 dan 3. Hal ini disebabkan karena massa jenis Cu lebih besar jika dibandingkan dengan Al dan Si sehingga Cu akan terkena gaya sentrifugal. Fasa Al₂Cu terbentuk karena adanya reaksi dari Al dan Cu yang terjadi pada suhu 800 °C [15].

Pada struktur mikro tampak ukuran butir cenderung lebih kecil pada bagian diameter luar jika dibandingkan dengan sisi diameter dalam yang cenderung berukuran lebih besar seperti terlihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Hal ini dikarenakan gaya sentrifugal yang mendorong logam cair ke sisi luar cetakan sehingga dalam proses pendinginan logam cair akan semakin cepat pada bagian luar.

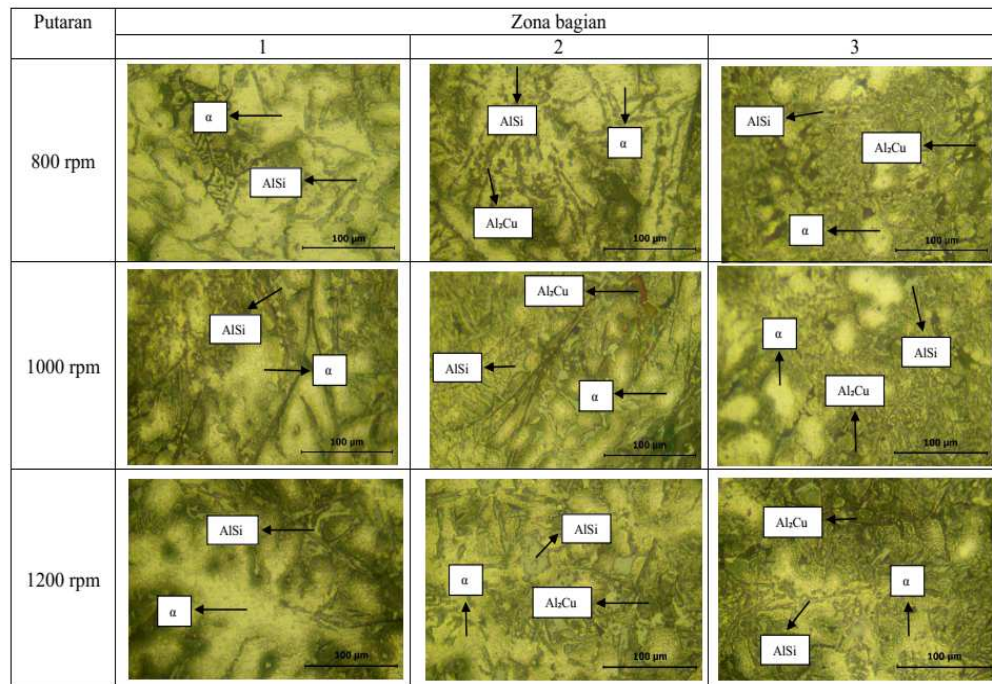


Gambar 7. Struktur mikro zona bagian 1 (sisi bagian dalam)



Gambar 8. Struktur mikro zona bagian 3 (sisi bagian luar)

Penambahan tembaga pada paduan Al-Si berfungsi sebagai *wetting agent* yaitu membantu persebaran partikel penguat secara merata, sehingga dalam penelitian ini kekerasan spesimen pada semua zona bagian cenderung meningkat sebanding dengan penambahan Cu [13]. Bentuk struktur mikro juga disebabkan oleh laju pendinginan yaitu semakin ke dalam laju pendinginan akan lama sehingga menyebabkan ukuran butir semakin besar [16]. Ukuran butir pada diameter luar cenderung lebih kecil dan halus karena pada sisi luar terjadi pendinginan yang cepat akibat kontak dengan dinding cetakan, sehingga terbentuk sebuah lapisan tipis (*skin solidification*) dari cairan logam sesaat sesudah proses penuangan. Hal ini menyebabkan butir menjadi lebih halus karena tidak sempat berkembang. Jadi dapat dikatakan dengan meningkatnya laju pembekuan, pertumbuhan butir secara signifikan juga terhambat sehingga butir berbentuk kecil dan halus [17].

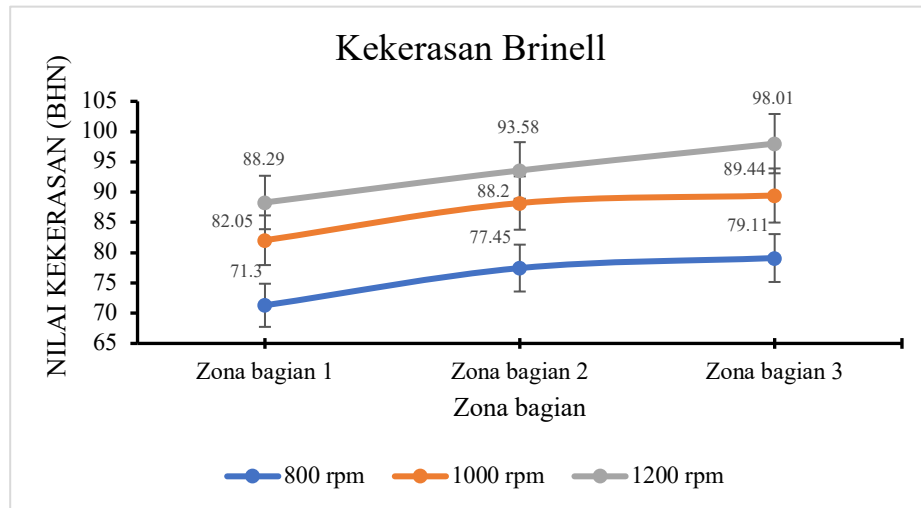


Gambar 9. Struktur mikro paduan Al-Si dengan penambahan tembaga

Pada struktur mikro juga terdapat porositas ditandai dengan adanya warna gelap pada gambar. Porositas yang tampak pada struktur mikro sesuai dengan perhitungan porositas yaitu semakin banyak penambahan Cu maka porositas yang terjadi juga semakin meningkat [13].

3.3. Pengujian Kekerasan Brinell

Rata-rata nilai kekerasan hasil pengecoran mengalami peningkatan dengan semakin bertambahnya kecepatan putar. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada kecepatan putaran 1200 rpm. Pada spesimen 800 rpm zona bagian 1 memiliki nilai kekerasan yang paling rendah dengan nilai 71,30 BHN dan pada spesimen 1200 rpm zona bagian 1 nilai kekerasan mengalami peningkatan sebesar 23,83% dengan nilai 88,29 BHN. Pada spesimen 800 rpm zona bagian 2 nilai kekerasannya 77,45 BHN dan pada spesimen 1200 rpm zona bagian 2 nilai kekerasan mengalami peningkatan sebesar 20,83% dengan nilai 93,58 BHN. Begitu pula pada spesimen 800 rpm zona bagian 3 yang nilai kekerasannya 79,11 BHN dan spesimen 1200 rpm zona bagian 3 nilai kekerasan mengalami peningkatan sebesar 23,89% dengan nilai 98,01 BHN. Kenaikan kekerasan disebabkan karena semakin tinggi kecepatan putar waktu pembekuan lebih cepat, laju pertumbuhan inti lebih besar dari laju pertumbuhan butir sehingga didapat struktur butiran halus [1]. Hal ini disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik gradasi rata-rata kekerasan Brinell benda cor

Peningkatan kekerasan disebabkan oleh ukuran butir dimana pada bagian sisi luar ukuran butir lebih kecil dan rapat sehingga luasan yang dikenai uji keras juga semakin meningkat sehingga kekerasan juga akan meningkat pada sisi luar. Selain itu kekerasan meningkat juga karena adanya fasa Al_2Cu pada sisi diameter luar yaitu pada zona bagian 2 dan 3 akibat gaya sentrifugal.

Peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh gaya sentrifugal yang mendorong serbuk tembaga ke bagian sisi luar, karena massa jenis Cu lebih besar sehingga pada penambahan Cu 3% kekerasan akan tinggi pada sisi luar [18]. Peningkatan kekerasan juga berkaitan dengan persebaran butir dari sisi luar yaitu ukuran butir yang semakin kecil dan rapat sehingga area batas butir per volume dari logam tersebut semakin besar, sehingga meningkatkan kekerasan logam itu sendiri [19].

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putar cetakan berpengaruh secara signifikan terhadap spesimen hasil pengecoran sentrifugal sumbu vertikal, dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi. Struktur mikro hasil cor memiliki persebaran butir pada sisi luar spesimen lebih rapat dan ukuran berbentuk kecil (pipih memanjang), sedangkan untuk sisi dalam persebaran butir cenderung renggang dan ukuran butir cenderung besar. Penambahan tembaga pada paduan Al-Si dengan metode pengecoran sentrifugal meningkatkan kekerasan hasil cor terutama pada bagian sisi luar spesimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Melalui pernyataan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Wijoyo S.T., M.Eng., yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. R. Putra, M. Arif Irfa'i, and S. Pd, "Pengaruh Kecepatan Putar Mesin Centrifugal Casting Pada Proses Pengecoran Aluminium Terhadap Kekerasan dan Porositas," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 25–34, 2019.
- [2] A. D. Subhi and A. M. Abd, "Improving Wear Properties of 392 Al Alloy Using Centrifugal Casting," *Journal Al-Khwarizmi Engineering Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 63–70, 2019, doi: 10.22153/kej.2019.11.001.
- [3] G. Chirita, D. Soares, and F. S. Silva, "Advantages of the centrifugal casting technique for the production of structural components with Al-Si alloys," *Mater Des*, vol. 29, no. 1, pp. 20–27, 2008, doi: 10.1016/j.matdes.2006.12.011.
- [4] Madhusudhan NS and Kumar GM, "Properties of centrifugal casting at different rotational speeds of the die," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 727–731, Jan. 2013.
- [5] M. A. Shomad, "550 rpm centrifugal casting sifat fatik paduan a 356 untuk velg sepeda motor," *Teknoin*, vol. 22, no. 3, pp. 1–5, 2016.
- [6] H. Situngkir, "Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Pembuatan Silinder Liner Mesin Otomotif Dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar," *Jurnal Dinamis*, vol. 2, no. 4, pp. 20–28, 2009.
- [7] D. Nurhadiyanto and F. A. Ristadi, "The Characteristics of Aluminum Casting Product Using Centrifugal Casting Machine," in *International Conference on Technology and Vocational Teachers (ICTVT)*, 2017, pp. 153–158.
- [8] A. Y. A, G. C. M, and K. S. Aithal, "Characterization of Al-18%wt Si through Centrifuge Casting for Different Teeming Temperature and Rotational Speeds," *American Journal of Materials Science*, vol. 2017, no. 4, pp. 120–123, 2017, doi: 10.5923/j.materials.20170704.11.
- [9] W. chen Tang, Z. yu Piao, J. Zhang, S. ying Liu, and L. jun Deng, "Effect of trace elements on the pinhole fatigue-resistance of gasoline Al-Si piston alloy," *Eng Fail Anal*, vol. 108, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.104340.
- [10] S. Sasidharan, R. Puthucode, N. Radhika, and A. Shivashankar, "Investigation of three body abrasive wear behaviour of centrifugally cast Cu-Sn/SiC functionally graded composite using Design of Experiment Approach," 2018. [Online]. Available: www.sciencedirect.com/www.materialstoday.com/proceedings
- [11] S. M. Ali, "The effect of reinforced SiC on the mechanical properties of the fabricated hypoeutectic Al-Si alloy by centrifugal casting," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 22, no. 4, pp. 1125–1135, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.jestch.2019.02.009.
- [12] R. P. Barot and M. P. Sutaria, "Effect of multiple remelting on behaviour of Al-Si5Cu3 Aluminium alloy," *Mater Today Proc*, vol. 62, pp. 4046–4051, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.04.608.
- [13] 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 aluminuim matrix composite using stir-casting method," *Mekanika*, vol. 16, no. 1, 2017.
- [14] M. Y. Abdulsahib, "Effect of copper addition on the microstructure and mechanical properties of al-si alloy," *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, vol. 7, no. 4, 2014.
- [15] W. Anderson, H. Rudianto, and D. Haryadi, "Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik Dan Stuktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 23, no. 2, pp. 146–154, 2018, doi: 10.35760/tr.2018.v23i2.2464.
- [16] M. ' Ari, "Pengaruh Kecepatan Putar Dan Penambahan Inokulan Al-Tib Pada Centrifugal Casting Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Paduan Aluminium Cor A356 Velg Sepeda Motor," 2013.

- [17] S. Sugiharto and S. Tjitro, “Pengaruh Kecepatan Putar Pada Proses Pengecoran Aluminium Centrifugal,” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2004, [Online]. Available: <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/>
- [18] M. A. El-Sayed, “Effect of the mould rotational speed on the quality of centrifugal castings,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 9, pp. 11575–11582, 2014, [Online]. Available: <http://www.ripublication.com>
- [19] A. Alhamidi, M. Fitrullah, and M. Dewi, “Evolusi Mikrostruktur Paduan Al 6061 Hasil Proses Canai Dingin Terhadap Sifat Mekanik,” *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, pp. 25–34, 2016.