ANALISIS CACAT PENYUSUTAN DAN NILAI KEKERASAN PRODUK COR ALUMINIUM SKRAP DENGAN VARIASI UKURAN *MILD STEEL CYLINDER MOLD*

Nurhabibah Paramitha Eka Utami^(*), Diah Kusuma Pratiwi, Hendri Chandra, Ellyanie, Gustini, dan Astuti

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

(*)E-mail Corresponding Author : nhparamitha@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Penelitian dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi diameter cetakan terhadap nilai kekerasan dan penyusutan pada produk cor aluminium skrap. Tiga variasi diameter cetakan digunakan dalam proses pengecoran, yaitu 50 mm, 70 mm, dan 100 mm. Metode pengujian yang digunakan meliputi pengukuran dalam penyusutan, pengujian kekerasan Brinell dan pengamatan *dye penetrant*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sampel 50 mm memiliki nilai kekerasan tertinggi 52,09 dan cacat penyusutan paling rendah 25,25%, sedangkan nilai kekerasan terendah dimiliki sampel Ø 100 mm yaitu 48,72 BHN dengan cacat penyusutan tertinggi sebesar 28%. Fenomena ini terjadi karena perbedaan laju pendinginan selama proses solidifikasi, dimana diameter cetakan yang lebih besar mengalami pendinginan lebih lambat sehingga menghasilkan butir mikrostruktur yang lebih kasar dan cacat penyusutan yang lebih banyak.

Kata Kunci: pengecoran, aluminium skrap, diameter cetakan, kekerasan, penyusutan.

Abstract

The research was conducted to investigate the effect of mold diameter variation on the hardness and shrinkage of cast products made from aluminum scrap. Three mold diameter variations were used in the casting process: 50 mm, 70 mm, and 100 mm. The testing methods included shrinkage measurement, Brinell hardness testing, and dye penetrant inspection. The test results showed that the 50 mm sample had the highest hardness value of 52.09 BHN and the lowest shrinkage defect of 25.25%, while the 100 mm diameter sample exhibited the lowest hardness value of 48.72 BHN and the highest shrinkage defect of 28%. This phenomenon occurred due to differences in cooling rates during the solidification process, where larger mold diameters experienced slower cooling, resulting in coarser microstructure grains and a higher occurrence of shrinkage defects.

Keywords: Casting, aluminum scrap, molding's diameter, hardness, shrinkage

1 PENDAHULUAN

Kualitas akhir produk cor dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis. Salah satu aspek penting yang tidak dapat diabaikan dalam menentukan mutu produk cor aluminium adalah fenomena cacat penyusutan atau *shrinkage defects* yang sering terjadi pada proses pendinginan dan pembekuan logam [1]. Cacat penyusutan ini tidak hanya berdampak pada integritas struktural produk, tetapi juga dapat menurunkan nilai kekerasan dan performa mekanik secara keseluruhan [2].

Pemanfaatan aluminium tidak terlepas dari keunggulannya dalam ketahanan korosi, kemampuan konduktivitas listrik dan termal yang unggul serta rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. Keunggulan-keunggulan ini menjadi salah satu faktor yang mengakibatkan adanya peningkatan kebutuhan dalam pemanfaatan aluminium dalam kurun beberapa dekade terakhir terutama pada sektor otomotif, kedirgantaraan, konstruksi, dan peralatan rumah tangga. Pemanfaatan aluminium sebagai salah satu material yang paling efisien dalam proses daur ulang memberikan manfaat tidak hanya dalam sisi ekonomi tetapi juga dalam pelestarian lingkungan [3], [4]. Daur ulang aluminium tidak hanya menghemat energi hingga 95% dibandingkan produksi dari bijih bauksit, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan limbah padat industri. Dengan kata lain, pemanfaatan kembali limbah aluminium menjadi salah satu solusi strategis dalam pengurangan limbah industri [5]. Salah satu metode yang sering digunakan dalam upaya mendaur ulang aluminium adalah melalui proses pengecoran karena fleksibilitasnya dalam membentuk berbagai komponen teknik. Namun demikian, kualitas hasil cor sangat dipengaruhi oleh berbagai parameter proses, salah satunya adalah desain dan ukuran cetakan.

Dalam proses pengecoran, desain dan ukuran cetakan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kualitas

akhir produk cor, termasuk sifat mekanik dan fisiknya. Dimensi dan bentuk cetakan mempengaruhi aliran logam cair selama proses penuangan, pembekuan, dan laju pendinginan yang secara langsung akan memengaruhi mikrostruktur dan sifat mekanik dari produk cor aluminium [6].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi ukuran cetakan logam berbentuk silinder terhadap karakteristik kekerasan dan kehadiran cacat penyusutan pada pengecoran aluinium dengan bahan baku aluminium skrap. Dengan menggunakan metode eksperimental dan analisis kehadiran cacat penyusutan, uji dye penentrant dan pengujian kekerasan, diharapkan dapat diperoleh data empiris yang valid untuk memahami bagaimana parameter cetakan memengaruhi kualitas produk akhir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pengecoran aluminium yang lebih efisien dan menghasilkan produk dengan kualitas mekanik yang optimal, sekaligus meminimalkan cacat penyusutan yang merugikan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya relevan secara akademis, tetapi juga memiliki nilai praktis yang tinggi bagi industri manufaktur logam di Indonesia dan global.

2 METODOLOGI



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan baku untuk proses pengecoran seperti yang ditunjukkan diagram alir penelitian pada Gambar 1. Aluminium yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pengepul barang bekas di wilayah Gandus, Palembang. Aluminium skrap yang digunakan merupakan bahan seragam yang berasal dari panci bekas. Tungku pengecoran yang digunakan dalam proses peleburan merupakan tungku krusibel berkapasitas 15 kg dengan bahan bakar briket barubara terkarbonsasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengecoran dilakukan dengan temperature terkontrol 700 °C selama 30 menit waktu peleburan. Cetakan yang digunakan terbuat dari *mild steel* dengan variasi diameter sebesar 50, 70, dan 100 mm dengan

ketinggian tetap 70 mm. Geometri cetakan *mild steel* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Komponen tungku



Gambar 3. Cetakan logam

Perhitungan penyusutan atau *shrinkage* dilakukan dengan menganalisa kedalaman penyusutan pada produk cor dari ketiga variasi dimensi cetakan *mild steel* yang digunakan. Pengamatan penyusutan juga dilakukan dengan melakukan uji *dye penentrant* pada permukaan produk cor. Pengujian ini berguna untuk mendeteksi cacat permukaan secara cepat dan efektif.

Dalam analisis nilai kekerasam, Penelitian ini menggunakan metode Brinell dalam mengamati fenomena perbedaan nilai kekerasan terhadap variasi ukuran cetakan silinder. Pengujian dilakukan dengan menerapkan pembebanan 1500 kgf menggunakan persamaan 1 berikut.

$$BHN = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \tag{1}$$

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kehadiran cacat penyusutan pada produk cor aluminium ditunjukkan pada Tabel 1. Penyajian data dilakukan dengan kode A1 untuk hasil pengecoran cetakan Ø 50 mm, A2 untuk Ø 70 mm dan A3 untuk cetakan Ø 100 mm.

 Tabel 1. Data Penyusutan Aluminium Skrap dengan variasi diameter cetakan

Sampel	Tinggi Produk	Kedalaman penyusutan	% susut	% rata - rata
A1-a	65	16	24,6	
A1-b	64	16	24,6	25,25
A1-c	64	17	26,5	
A2-a	66	17	25,7	
A2-b	64	18	28,1	26,1
A2-c	65	16	24,6	
A3-a	66	18	27,2	
A3-b	66	19	28,7	28
А3-с	64	18	28,1	

Analisis Cacat Penyusutan dan Nilai Kekerasan Produk Cor Aluminium Skrap dengan Variasi Ukuran Mild Steel Cylinder Mold

Berdasarkan data diatas, produk cor yang menggunakan cetakan Ø 100 mm miliki persentase rata-rata nilai penyusutan tertinggi yaitu sebesar 28 % sedangkan rata-rata nilai penyusutan terendah terdapat pada sampel produk yang diproduksi menggunakan cetakan dengan ø 50 mm. Pembekuan tidak seragam cenderung terjadi pada cetakan dengan ukuran yang lebih besar dimana bagian tepi yang bersentuhan langsung dengan cetakan lebih cepat membeku dibanding sisi bagian tengah cetakan [7]. Daerah yang terakhir membeku berada di bagian tengah dari cetakan, dimana panas lebih sulit untuk dilepaskan [8]. Perbedaan laju pembekuan yang terjadi menyebabkan terbentuknya gradien suhu yang signifikan di dalam cetakan dan membuat daerah yang membeku terakhir akan menjadi titik konsentrasi penyusutan.

Pada cetakan dengan diameter lebih kecil, laju pendingingan yang terjadi lebih seragam sehingga resiko terjadinya penyusutan dapat diminimalkan karena pembekuan lebih merata. Ukuran cetakan yang kecil memungkinkan proses pembekuan terjadi lebih cepat dan memungkinkan logam cair membeku sebelum terbentuk rongga penyusutan [9].



(a)



(b)



Gambar 4. Dye penentrant produk cor aluminium skrap dengan cetakan (a) Ø 50 mm (b) Ø 70 mm dan (c) Ø 100 mm

Hasil pengamatan *dye penetrant* ditunjukkan pada Gambar 4(a) hingga Gambar 4(c). Berdasarkan hasil pengamatan, Indikasi cacat yang terdeteksi pada produk cor hadir berupa porositas, retakan kecil dan rongga penyusutan yang tampak dalam dan jelas. Kehadiran cacat penyusutan umumnya muncul dalam pola tidak merata dan terkonsentrasi pada bagian yang mengalami pendinginan paling lambar yaitu pada bagian tengah cetakan.

Pada sampel hasil pengecoran dengan cetakan berdimensi kecil menunjukkan lebih sedikit indikasi cacat, dengan ukuran yang relatif kecil dan tersebar lebih merata. Hal ini mengindikasikan bahwa laju pendinginan yang lebih cepat pada cetakan kecil membantu mengurangi terbentuknya rongga penyusutan dan retakan permukaan [10]. Hasil penelitian membuktikan bahwa peningkatan dimensi cetakan berbanding lurus dengan peningkatan risiko terjadinya cacat penyusutan pada permukaan coran, dimana hal ini disebabkan oleh lambatnya proses solidifikasi pada volume logam yang lebih besar sehingga memungkinkan terjadinya perbedaan gradien suhu dan tidak meratanya suplai logam cair selama pembekuan. Dimana seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa perbedaan gradien suhu yang signifikan dalam volume logam cair yang lebih besar dapat menyebabkan perbedaan laju pendinginan [11]. Penelitian O'Toole dkk [12] menjelaskan dimana bagian yang paling lambat mendingin akan tetap dalam fasa cair yang lebih lama. Hal ini dapat mengakibatkan segregasi komposisi dimana elemen-elemen paduan cenderung memisahkan diri dan berkonsentrasi di area yang paling terakhir membeku. Segregasi ini dapat mengurangi homogenitas material dan mempengaruhi sifat mekaniknya. Gradien suhu yang tinggi juga dapat memicu pembentukan tegangan termal yang dapat menyebabkan distorsi atau retak pada produk akhir pengecoran [13].

Dimensi	Sampel	BHN	<u>BHN</u> Total
ø 50 mm	A1-a	52,10	
	A1-b	50,72	52,09
	A1-c	53,45	
	A2-a	51,62	
ø 70 mm	A2-b	51,84	51,85
	A2-c	52,10	
ø 100 mm	A3-a	47,34	
	A3-b	50,05	48,72
	A3-c	48,78	

 Tabel 2. Nilai kekerasan produk cor Aluminium skrap dengan variasi dimensi cetakan silinder

Tabel 2 menunjukkan nilai kekerasan produk cor Aluminium skrap dengan variasi dimensi cetakan silinder. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai rata-rata keseluruhan sampel uji produk cor ø 50 mm memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan dengan produk cor ø 70 mm dan ø 100 mm. Laju pendinginan yang lebih cepat pada cetakan Ø 50 mm menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan rapat, hal ini secara langsung berdampak pada peningkatan nilai kekerasan material. Nilai kekerasan produk cor ø 100 mm paling rendah diantara ketiga variasi pengujian. Hal ini disebabkan karena pertumbuhan butir (grain growth) lebih besar selama solidifikasi. Ukuran butir yang lebih besar cenderung menurunkan nilai kekerasan karena berkurangnya jumlah batas butir yang berfungsi sebagai hambatan terhadap deformasi plastis.



Gambar 5. Perbandingan nilai kekerasan dan kehadiran cacat penyusutan pada ketiga variasi diameter cetakan

Gambar 5 menunjukkan Perbandingan nilai kekerasan dan kehadiran cacat penyusutan pada ketiga variasi diameter cetakan dalam pengecoran aluminium Data ditampilkan skrap. yang menunjukkan kecenderungan yang konsisten bahwa semakin besar diameter cetakan, maka nilai penyusutan semakin meningkat sementara nilai kekerasan justru mengalami penurunan. Fenomena ini disebabkan oleh proses pendinginan yang lebih lambat pada cetakan berdimensi besar, yang memungkinkan terbentuknya butir-butir kasar dan rongga penyusutan akibat ketidakseimbangan aliran logam cair selama solidifikasi. Meningkatnya diameter cetakan memperlambat laju pembekuan logam, sehingga mengakibatkan peningkatan cacat penyusutan dan penurunan kekerasan pada produk cor.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian produk cor aluminium skrap dengan variasi diameter cetakan 50 mm, 70 mm, dan 100 mm, dapat disimpulkan bahwa ukuran cetakan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik dan cacat pengecoran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cetakan berdiameter 50 mm menghasilkan produk dengan nilai kekerasan tertinggi (52.09 BHN) dan cacat penyusutan terendah (25.25%), yang disebabkan oleh laju pendinginan lebih cepat dan solidifikasi yang lebih seragam, sehingga membentuk struktur mikro yang lebih halus. Sebaliknya, cetakan 100 mm menunjukkan kekerasan terendah (48.72 BHN) dan penyusutan tertinggi (28%) akibat pendinginan lambat yang memicu pertumbuhan butir kasar dan ketidaksempurnaan solidifikasi. Temuan ini membuktikan adanya hubungan terbalik antara diameter cetakan dengan kualitas produk cor, di mana semakin besar diameter cetakan, nilai kekerasan cenderung menurun sementara cacat penyusutan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- V. B. Deev *et al.*, "The influence of the melt cooling rate on shrinkage behaviour during solidification of aluminum alloys," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 537, no. 2, p. 022080, May 2019, doi: 10.1088/1757-899X/537/2/022080.
- [2] L. R. Botvina, M. R. Tyutin, and A. P. Alexandrov, "Gigacycle Fatigue of the Turbocharger Gear Wheel," *Inorganic Materials*, vol. 59, no. 15, pp. 1571–1580, Dec. 2023, doi: 10.1134/S0020168523150025.
- [3] D. S. Wong and P. Lavoie, "Aluminum: Recycling and Environmental Footprint," *JOM*, vol. 71, no. 9, pp. 2926–2927, Sep. 2019, doi: 10.1007/s11837-019-03656-9.
- [4] C. Windmark, L. Lattanzi, A. Månberger, and A. E. W. Jarfors, "Investigation on Resource-Efficient Aluminium Recycling – A State of the Art Review," 2022. doi: 10.3233/ATDE220122.
- [5] D. Raabe *et al.*, "Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of 'dirty' alloys," *Prog Mater Sci*, vol. 128, p. 100947, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.pmatsci.2022.100947.
- [6] L. Zhuo, S. Pang, H. Wang, and T. Zhang, "Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of rapidly solidified Al-based bulk alloys," *J Alloys Compd*, vol. 504, pp. S117–S122, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.jallcom.2010.03.211.
- [7] Y. Murakami, K. Miwa, M. Kito, T. Honda, N. Kanetake, and S. Tada, "Effect of Casting Condition in Semi-Solid Aluminum Alloy

Analisis Cacat Penyusutan dan Nilai Kekerasan Produk Cor Aluminium Skrap dengan Variasi Ukuran Mild Steel Cylinder Mold Injection Process on Distribution of Defects and Density," in *Shape Casting: 5th International Symposium 2014*, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 11–18. doi: 10.1007/978-3-319-48130-2_2.

- [8] Y. Li, Z. Wang, X. Zhou, H. Xiao, and Q. Yue, "A review of electromagnetic stirring on solidification characteristics of molten metal in continuous casting," *Metallurgical Research & Technology*, vol. 121, no. 3, p. 312, May 2024, doi: 10.1051/metal/2024029.
- [9] Y. Yu, X. Luo, H. (Yulin) Zhang, and Q. Zhang, "Dynamic optimization method of secondary cooling water quantity in continuous casting based on three-dimensional transient nonlinear convective heat transfer equation," *Appl Therm Eng*, vol. 160, p. 113988, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2019.113988.
- [10] Y. Yuan and Z. Li, "Numerical and experimental study of the elimination of shrinkage in complex and small investment castings using water cooling process," 2013, pp. 805–811. doi: 10.1063/1.4806914.
- [11] M. Chasnitsky, V. Yashunsky, and I. Braslavsky, "Heat flux balance description of unidirectional freezing and melting dynamics on a translational temperature gradient stage," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 161, p. 106734, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2020.106734.
- P. I. O'Toole, M. J. Patel, C. Tang, D. Gunasegaram, A. B. Murphy, and I. S. Cole, "Multiscale simulation of rapid solidification of an aluminium-silicon alloy under additive manufacturing conditions," *Addit Manuf*, vol. 48, p. 102353, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.102353.
- [13] A. Kapil, V. Sharma, J. De Pauw, and A. Sharma, "Exploring impact, spreading, and bonding dynamics in molten metal deposition for novel drop-on-demand printing," *Mater Des*, vol. 238, p. 112633, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.matdes.2024.112633.