

PENAMBAHAN SR PADA ALUMINIUM PADUAN A356 DENGAN METODE LOST FOAM CASTING (LFC)

Suherman^{1,*}, Ilmi², Amirsyam³, Abdan Syakura⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jln. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara, 20238

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jln. Almameter, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara, 20155

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Jln. Kolam No. 1, Medan Estate, Kota Medan, Sumatera Utara, 20223

⁴Jurusan Teknik Mesin, Diploma III, Politeknik Tanjungbalai, Jln. Sei Raja Kel. Kel. Sei Raja, Kec. Sei Tualang Raso, Kota Tanjungbalai, Sumatera Utara, 21345

*E-mail: suherman.me.umsu@gmail.com

Diterima: 21-10-2020

Direvisi: 05-11-2021

Disetujui: 01-06-2022

ABSTRAK

Pemilihan proses pengecoran dan laju pendinginan sangat menentukan morfologi partikel autektik silicon yang dihasilkan pada aluminium paduan. Proses pendinginan aluminium paduan dengan metode pengecoran metode Lost Foam Casting (LFC) berjalan sedikit lambat sehingga menghasilkan sifat mekanis yang rendah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh penambahan modifier Sr pada aluminium A356 pada struktur mikro dan sifat mekanis. Aluminium paduan A356 dicairkan menggunakan dapur crusibel dan dituang pada temperatur 730 °C permukaan pola polystyrene yang telah dilapisi bahan refraktori. Penambahan modifier Sr dipelajari pengaruhnya terhadap perubahan struktru mikro dan sifat mekanis (kekerasan, kekuatan impak dan kekuatan tarik). Hasil penelitian ini menunjukkan terjadinya perubahan partikel autektik silicon dari bentuk acicular ke bentuk berserabut. Nilai kekerasan, kekuatan tarik maksimum dan kekuatan impak pada hasil coran meningkat setelah penambahan modifier Sr pada aluminium paduan A356.

Kata kunci: aluminium A356; modifier Sr; pengecoran LFC.

ABSTRACT

The casting process and cooling rate determine the morphology of the authentic silicon particles produced in aluminum alloys. The slow cooling rate of aluminum alloy through the Lost Foam Casting (LFC) method a result of low mechanical properties. The purpose of this study was the effect of added Strontium (Sr) modifier to aluminum A356 on the microstructure and mechanical properties of the LFC method. The Aluminum A356 alloys are melted using a crucible and poured at a temperature of 730 °C on the surface of the polystyrene pattern which has been coated with refractory materials. The addition of the Strontium modifier was studied for its effect on changes in microstructure and mechanical properties (hardness, impact strength, and tensile strength). The results of this study indicate a change in the authentic silicon particles from an acicular to a filamentous form. The value of hardness, maximum tensile strength, and impact strength on the castings increased after the addition of Sr modifier to aluminum alloy A356.

Keywords: A356; modifier Sr; Lost Foam Casting.

1. PENDAHULUAN

Pada satu dekade terakhir ini aluminium paduan Al-Si-Mg (A356) sangat luas penggunaannya terutama pada komponen otomotif, pesawat terbang dan industry elektronika karena memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan paduan aluminium lainnya. Paduan ini memiliki kelebihan antara lain yaitu ringan dibanding besi dan baja, tahan korosi yang baik, mudah dicor, mampu mesin dan las yang baik [1].

Pemilihan proses pengecoran serta komposisi paduan sangat mempengaruhi struktur mikro dari aluminium paduan. Banyak metode pengecoran yang digunakan dalam pembuatan komponen otomotif seperti metode cetakan pasir, cetakan logam, high pressure die casting serta metode LFC. Metode *evaporative (lost foam casting)* merupakan metode pengecoran yang sangat tepat dalam memproduksi komponen otomotif berbahan aluminium paduan.

Pengecoran gravitasi pada paduan aluminium banyak digunakan untuk aplikasi kepala silinder untuk industri otomotif karena kemampuan cor yang baik serta sifat fisik dan mekaniknya. Baru-baru ini untuk tujuan pengurangan biaya proses pengecoran, proses *die casting* konvensional (CD) digantikan dengan proses pengecoran busa yang hilang (*Lost Foam Casting*). Karena kendala ekonomi dan persyaratan lingkungan, saat ini industri otomotif dipaksa untuk memodifikasi proses dari beberapa bagian mesin seperti kepala silinder. Saat ini, proses LFC menggantikan proses Die Casting (DC) konvensional untuk tujuan optimasi geometri, pengurangan biaya dan kontrol konsumsi [2].

Proses pengecoran LFC hanya menggunakan seperempat lebih sedikit energi dan hanya sepertiga penggunaan logam cair daripada pengecoran. Keuntungan dari proses LFC dibanding proses *DC casting* adalah biaya lebih rendah. Kerugian utama dari LFC adalah adanya cacat yang disebabkan oleh terjebaknya gas di logam yang membeku. Apalagi, pada proses LFC laju pendinginan proses relatif lambat dibandingkan dengan proses DC (LFC sekitar $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}^{\text{s}^{-1}}$ dan sekitar $30\text{ }^{\circ}\text{C}^{\text{s}^{-1}}$ pada DC casting) [3]. Hal ini mengarah pembentukan

mikrostruktur yang kasar bila diukur pada *Dendrite Arm Spacing (DAS)*. Selain itu, porositas dan terjadinya inklusi (Eutectic Si, eutectic Al Al_2Cu , dan intermetallic berbasis besi) meningkat dan bergerombol. Struktur mikro Aluminium paduan yang dihasilkan oleh proses LFC dengan jaringan yang sangat kompleks dengan ukuran partikel besar: Partikel silikon, Al_2Cu , $\alpha\text{-AlFeSi}$, $\beta\text{-AlFeSi}$ dan pori-pori. Pori-pori [4] dapat memainkan peran yang menentukan di atas ukuran kritis, dengan menyediakan lokasi inisiasi retak preferensial tetapi berpengaruh dari fase lain seperti oksida [5], intermetalik besi [6] dan partikel Si [7].

Metode *lost foam casting (LFC)* memiliki beberapa kelebihan yaitu keleluasaan dalam desain pola coran, tidak perlu memakai inti, bentuk yang kompleks dapat dibuat dengan teknik ini, tidak perlu finishing serta mudah dalam membuat pola. Akan tetapi metode pengecoran juga memiliki banyak kekurangan seperti laju pendinginan yang lambat, banyak terbentuk porositas dan sifat mekanis yang rendah. Tentunya hal ini menunjukkan sulitnya mendapatkan kekuatan mekanik yang baik aluminium cor tanpa perlakuan [2].

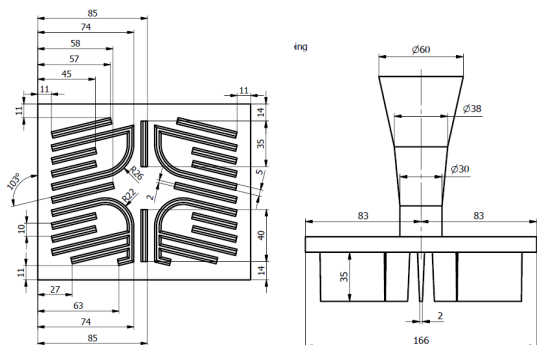
Penambahan Sr pada aluminium paduan meningkatkan potensi terjadinya retak panas (*hot tearing*) [8], ukuran partikel autektik silikon berkurang akan tetapi meningkatkan jumlah porositas [8-10]. Penambahan Sr pada aluminium paduan meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan hasil coran [11].

Oleh karena itu dengan penambahan Sr sebesar 0,01% akan mampu merubah morfologi partikel silikon eutektik dan ukuran *dendrite arm spacing (DAS)*, bentuk plat ke bentuk berserabut sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis (*mechanical properties*) seperti kekerasan dan kekuatan tarik dan kekuatan impak aluminium paduan Al-Si-Mg (A356) yang digunakan untuk membuat komponen otomotif seperti kepala silinder motor 2 tak.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan aluminium paduan A356 berbentuk ingot dengan uji komposisi menggunakan spectrometer analisis yaitu 7,70Si-0,36Fe-0,01Cu-0,37Mg-0,13Zn-0,29Ti-0,02Pb.

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan pola polystyrene/ Styrofoam yang dibentuk mengikuti ukuran seperti gambar (1). Styrofoam lembaran dengan densitas 20 kg/m³ dengan memotong dengan pemotong elektrik. Pola prototipe kepala silinder sepeda motor 2 tak selanjutnya dirangkai dengan saluran turun dengan lem Styrofoam dan dimasukkan kedalam cairan bahan ceramic untuk melapisi pola agar lebih kaku yang merupakan campuran Colloidall Silica (O₂Si) dan Zircon Oxide (ZrO₂), pola yang sudah dilapisi bahan keramik terlebih dibiarkan mengering pada temperature kamar. Pola kemudian ditanam kedalam pasir silica berukuran mesh 40-60 hingga menutupi seluruh pola. Aluminium paduan A356 dilebur dalam dapur krusibel dan ditambahkan master alloy Al-10Sr-1B sesaat sebelum dituang. Penuangan logam cair dilakukan pada permukaan pola pada temperature 730 C. Hasil coran prototype kepala silinder kemudian dipotong untuk membuat specimen uji tarik mengikuti standar ASTM E-801 dan specimen uji impak mengikuti standar ASTM E-23. Pengamatan stuktur mikro dipersiapkan dengan mempolis specimen menggunakan mesin polishing dan selanjutnya diamati menggunakan mikroskop optic metalurgi.



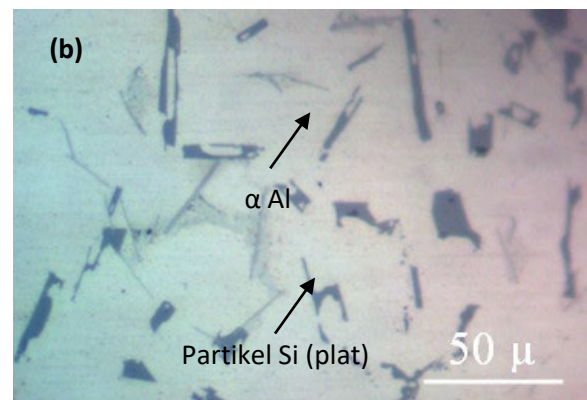
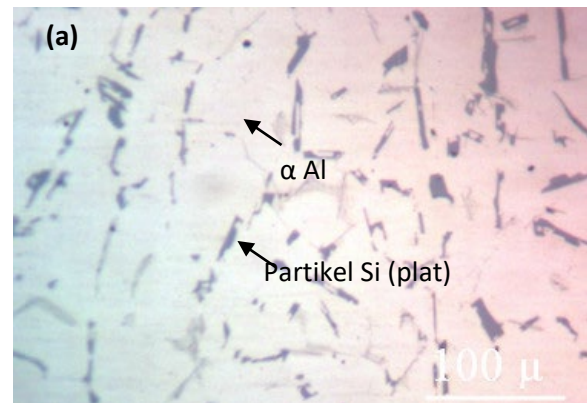
Gambar 1. (a) pandangan atas pada dimensi pola sirip-sirip pada head silinder, (b) pandangan samping saluran turun.

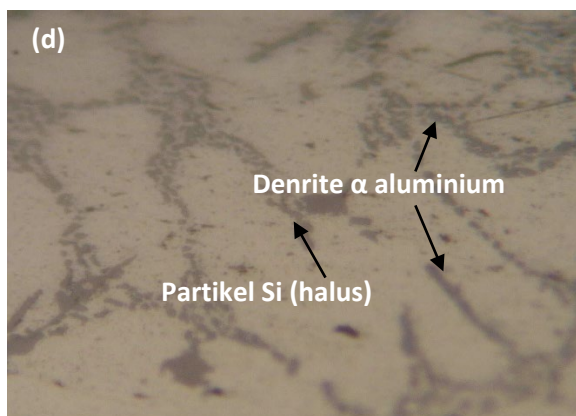
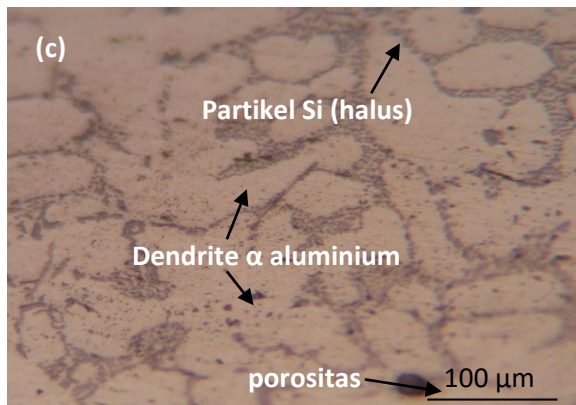
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

A. Mikrostruktur

Gambar (2) menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro aluminium paduan A356 dengan dan tanpa penambahan Sr. Proses pengecoran aluminium paduan A356 menggunakan metode Evaporative memberikan pendinginan yang relative lambat sehingga menghasilkan ukuran partikel silicon yang sedikit kasar [2] ukuran rata-rata 45 μ m dengan bentuk plat berujung runcing (gambar 2 a dan b). Partikel silicon tersebar merata keseluruh bagian aluminium (berwarna gelap), jumlah persentase silicon pada aluminium silicon tentunya juga akan mempengaruhi dari sifat mekanis (kekuatan tarik maksimum, ketangguhan dan kekerasan) pada aluminium paduan.





Gambar 2. photo mikro a) aluminium A356 200x, (b) aluminium A356 400x, (c) aluminium A356 dengan penambahan Sr 200x dan (d) aluminium A356 penambahan Sr 400x

Penambahan Sr sebesar 0,01% kedalam aluminium paduan A356 merubah bentuk partikel autektik silicon. Aluminium paduan A356 setelah penambahan Sr berubah menjadi bentuk berserat (*fibrous*) [12][9] dimana partikel autektik silicon tersebar diantara dendrite aluminium. Penambahan Sr memberikan efek yaitu menurunkan temperature autektik [13] dan butir α -aluminium terhadap laju pendinginan (cooling rate) [12] sehingga hal ini mengurangi ukuran partikel autektik silikon. Proses pengecoran metode LFC menyebabkan peningkatan kandungan hydrogen sehingga banyak terjadinya porositas (gambar 2.c) hasil coran karena sebagian besar polystyrene yang terbakar akan membentuk gas dan keluar melalui celah pasir silica, akan tetapi sebagian kecil akan tertinggal pada permukaan logam coran. Selain itu Penambahan Sr pada logam cair biasanya memberikan efek terhadap

bertambahnya kandungan hydrogen dan kerentanan terjadinya porositas pada logam Sifat Mekanis Aluminium A356[9].

Penambahan modifier Sr meningkatkan kekuatan tarik maksimum pada aluminium paduan seperti disajikan pada tabel (1), peningkatan kekuatan tarik maksimum sebesar 26% dari 115 Mpa menjadi 143 Mpa [14][11]. Penambahan Sr pada aluminium paduan mempengaruhi kekuatan tarik maksimum [11][9], selain itu juga bentuk permukaan hasil uji tarik bersifat patah ulet [9].

Tabel 1. Sifat Mekanis Aluminium Paduan A356

Material	Kekuatan Tarik Maks (MPa)	Kekerasan (BHN)	Kekuatan Impak (Joule)
A356	115	45	45
A356+Sr	145	57	55

Nilai kekerasan aluminium paduan A356 dengan penambahan Sr (57 BHN) lebih tinggi dari aluminium paduan A356 dengan metode pengecoran LFC [11]. Nilai peningkatan kekerasan sebesar 27% dimana berkaitan dengan pengurangan ukuran DAS [11] dan juga berkaitan dengan partikel autektik silicon halus yang tersebar pada aluminium. Kekuatan impak mengalami peningkatan sebesar 22% setelah penambahan modifier Sr pada aluminium paduan A356 (tabel 1), peningkatan kekuatan impak karena terjadinya perubahan pada partikel autektik silicon dari bentuk plat ke bentuk berserat (*fibrous*) sehingga menyebabkan hasil coran lebih tangguh.

4. KESIMPULAN

Penambahan Sr sebagai modifier pada aluminium paduan A356 menghasilkan perubahan pada struktru mikro dan sifat mekanis yaitu: Penambahan Sr sebesar 0,01% kedalam aluminium paduan A356 menghasilkan perubahan pada partikel autektik silicon dari bentuk plat (*platlike*) ke bentuk berserat (*fibrous*). Nilai kekerasan coran meningkat sebesar 27% setelah penambahan Sr pada aluminium paduan A356. Nilai kekuatan impak juga meningkat sebesar

22% dari 45 J menjadi 55 J, peningkatan kekuatan tarik juga mengalami peningkatan sebesar 26%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Surdia, T. dan Saito, S., 1992, 'Pengetahuan Bahan Teknik', P.T Pradnya Paramitha, Jakarta.
- [2] Suherman, 2019, Buku Pengecoran Logam (Metode Evaporative) - Deepublish | Penerbit Buku Deepublish.
- [3] S. Tabibian, E. Charkaluk, A. Constantinescu, A. Oudin, and F. Szymtka, "Behavior, damage and fatigue life assessment of lost foam casting aluminum alloys under thermo-mechanical fatigue conditions," *Procedia Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1145–1154, Apr. 2010.
- [4] Wang, Q.G., Apelian, D., Lados, D.A., 2001, Fatigue behavior of A356/357 aluminum cast alloys. Part II – Effect of microstructural constituents."
- [5] X. Cao and J. Campbell, "The nucleation of Fe-Rich phases on oxide films in Al-11.5Si-0.4Mg cast alloys," *Metall. Mater. Trans. A*, vol. 34, no. 7, pp. 1409–1420, Jul. 2003.
- [6] Tabibian, S., Charkaluk, E., Constantinescu, A., Szymtka, F., Oudin, A. 2013, TMF–LCF life assessment of a Lost Foam Casting A319 aluminum alloy. |
- [7] Buffière, J.-Y., Savelli, S., Jouneau, P.H., Maire, E., Fougères, R, 2001. Experimental study of porosity and its relation to fatigue mechanisms of model Al-Si7-MgO.3 cast Al alloys. |
- [8] M. Uludağ, R. Çetin, D. Dispınar, and M. Tiryakiođlu, "The effects of degassing, grain refinement & Sr-addition on melt quality-hot tear sensitivity relationships in cast A380 aluminum alloy," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 90, pp. 90–102, Aug. 2018.
- [9] S. Suherman, A. Syakura, A. Nasution, S. Mizhar, O. Hermawan, and A. Handoko, "Influence of Additional Sr and TiB on Aluminium Al-Si-Cu-Mg Alloys for Produced Prototype Cylinder Head Motorcycle," *Proceeding Ocean Mech. Aerosp.-Sci. Eng.-*, vol. 5, no. 1, pp. 79–83, 2018.
- [10] G. Timelli, D. Caliarı, and J. Rakhmonov, "Influence of Process Parameters and Sr Addition on the Microstructure and Casting Defects of LPDC A356 Alloy for Engine Blocks," *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 515–523, Jun. 2016.
- [11] P. Tang, W. Li, Y. Zhao, K. Wang, W. Li, and F. Zhan, "Influence of strontium and lanthanum simultaneous addition on microstructure and mechanical properties of the secondary Al-Si-Cu-Fe alloy," *J. Rare Earths*, vol. 35, no. 5, pp. 485–493, May 2017.
- [12] Q. Liu *et al.*, "Effects of Sr, Ce and P on the microstructure and mechanical properties of rapidly solidified Al 7Si alloys," *Mater. Charact.*, vol. 140, pp. 290–298, Jun. 2018.
- [13] İ. Öztürk, G. Hapçı Ağaođlu, E. Erzi, D. Dispınar, and G. Orhan, "Effects of strontium addition on the microstructure and corrosion behavior of A356 aluminum alloy," *J. Alloys Compd.*, vol. 763, pp. 384–391, Sep. 2018.
- [14] M. Faccoli, D. Dioni, S. Cecchel, G. Cornacchia, and A. Panvini, "Optimization of heat treatment of gravity cast Sr-modified B356 aluminum alloy," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, vol. 27, no. 8, pp. 1698–1706, Aug. 2017.