

ANALISIS STRUKTUR MIKRO PADUAN ALUMINIUM ADC12 PADA PENGECORAN SEMI SOLID DENGAN PENGADUK MEKANIS JENIS TURBIN

Syahrudin Rasyid¹⁾, Muas M¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

A new method using a merger between the casting process and the forming process has been developed. One method used is the semisolid forming process. The semisolid forming process, also called the semiliquid forming process, semisolid casting or semiliquid casting is a metal working process that is carried out in a mixture of liquid and solid phase conditions (semisolid or semiliquid). The semisolid forming process requires nondendritic micro alloy metal raw materials. This study aims to analyze the effect of stirring parameters (blade angle and stirrer rotation) and pour temperature on the micro structure of the ADC12 aluminum alloy. The research method is done by gravity casting using metal molds. The ADC12 aluminum slurry is stirred at 5°C above the pouring temperature with a mechanical turbine model at 300, 400 and 500 rpm for 20 seconds. The angle of the stirring bar is 0°, 15°, and 30°. Next, the ADC12 aluminum slurry is poured into a metal mold with pouring temperatures of 565, 570, and 575°C. Microstructural characteristics were examined by direct observation using an optical microscope. The grain size was identified using Image J. software the microstructure of the ADC12 aluminum alloy made with semi-solid casting technology using a mechanical stirring model has been studied. The results obtained can be concluded: a). There is a microstructure difference of the ADC12 aluminum alloy after semi-solid casting using turbine type mechanical stirrer with 3 blade angle variations, b). The higher the rotational speed, the greater the grain size and the higher the pouring temperature, the greater the grain size, c). The mechanical stirrer model with a blade angle of 0° produces smaller grain sizes than the angle of the other stirrer blades (blade angles of 15°, and 30°), and d). The smallest grain size occurs at an angle of 0°, pouring temperature 565°C, and rotation of 600 rpm at 14.46 µm.

Keywords: *Microstructure, ADC12, Stir casting, Turbine.*

1. PENDAHULUAN

Metode baru menggunakan penggabungan antara proses pengecoran dan proses pembentukan telah dikembangkan. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan proses semisolid forming. Proses semisolid forming, disebut juga proses semiliquid forming, semisolid casting atau semiliquid casting adalah proses pengerjaan logam yang dilakukan dalam kondisi campuran fasa cair dan padat (semisolid atau semiliquid). Proses semisolid forming memerlukan bahan baku paduan logam yang berstruktur mikro nondendritic.

Proses semisolid forming memiliki kelebihan dibandingkan dengan pengecoran konvensional dan pembentukan konvensional. Bila dibandingkan dengan proses pengecoran konvensional, proses semisolid forming memiliki kelebihan karena cacat porositas relatif rendah sehingga keuletan dan kekuatannya relatif tinggi. Jika dibandingkan dengan pembentukan konvensional, proses semisolid forming memiliki kelebihan karena dapat membentuk produk logam yang relatif kompleks dengan gaya pembentukan yang relatif kecil.

Pada proses pengecoran semi solid, kompleksitas bentuk produk yang dapat dibuat dan kecepatan produksi lebih tinggi bila dibandingkan dengan pembentukan konvensional (forging process). Selain itu, gaya pembentukan proses pengecoran semi solid juga lebih rendah karena terdapat fasa cair pada bahan baku. Kondisi bahan baku pada proses pengecoran semi solid diperoleh dengan cara memanaskannya di antara temperatur solid dan temperatur liquid (Mohammad et. al [1]).

Menurut Rudi et. al [2] Pengecoran pada temperatur yang lebih rendah akan meningkatkan akurasi dimensi dan meningkatkan umur cetakan. Bahan baku yang digunakan untuk proses pengecoran semi solid adalah logam yang mempunyai struktur *nondendritic*. Oleh karena itu, keberhasilan proses pembuatan suatu produk dengan pengecoran semi solid adalah sangat penting mengkondisikan bahan baku memiliki struktur mikro yang bulat.

Penelitian yang berkaitan dengan proses pengadukan menggunakan beberapa model pengaduk mekanis pada aluminium melt (simulasi) telah banyak dilaporkan oleh beberapa peneliti [3-13]), sehingga masih dimungkinkan dilakukan penelitian lebih lanjut dalam bentuk eksperimen.

¹⁾ Korespondensi penulis: Syahrudin Rasyid, Telp 081354933670, syahrudinrasyid@poliupg.ac.id

Murthy et. al [6] telah meneliti model turbulensi standar k- ϵ , RSM dan LES dalam bejana yang diaduk oleh berbagai desain impeller. Jenis desain impeller yang digunakan adalah disc turbine (DT), a variety of pitched blade down flow turbine impellers varying in blade angle (Standard PBT60, 45 and 30), dan hydrofoil (HF) impeller. Kesimpulan yang diperoleh adalah DT menghasilkan ketidakstabilan terkuat dan HF menghasilkan ketidakstabilan terlemah.

Yamamoto et. al [13] telah menginvestigasi desain impeller dan pola aliran dengan pengaduk mekanik pada cairan aluminium. Model pengaduk atau impeller yang digunakan memiliki sudut puntir θ adalah 15° , 30° , 45° , dan 60° . Hasil pengujian mengungkapkan bahwa sudut puntir mempengaruhi kekuatan dan arah aliran pelepasan. Kekuatan aliran pelepasan menjadi lebih lemah dengan meningkatkan sudut puntir sementara arah aliran dipengaruhi oleh permukaan sudu impeller dan interval ruang antara sudu yang berdekatan. Struktur trailing vortices juga bervariasi tergantung pada sudut puntir impeller.

Rasyid [14] membandingkan sifat mekanik dan struktur mikro paduan aluminium ADC12 pada suhu tuang yang berbeda dan persiapan slurry aluminium yang diaduk dan tidak diaduk. Terdapat perbedaan *secondary dendrite arms surface* atau ukuran butir pada paduan aluminium ADC12 yang diaduk dan tidak diaduk. Suhu tuang berpengaruh terhadap sifat mekanik paduan aluminium ADC12, semakin tinggi suhu tuang maka semakin besar *secondary dendrite arms surface* atau ukuran butir. Suhu tuang yang tepat untuk menghasilkan diameter butir yang kecil berada pada range temperatur $580-620^\circ\text{C}$.

Rasyid [15] membandingkan parameter pengadukan (kecepatan dan waktu) pada sifat mekanik dan struktur mikro paduan aluminium ADC12. Pengadukan singkat di bawah suhu liquidus untuk membentuk struktur non-dendritic. Kecepatan pengadukan mempengaruhi struktur mikro paduan aluminium ADC12.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu pada proses pengecoran semi solid paduan aluminium ADC12 dengan menggunakan pengaduk mekanik (Rasyid [14, 15]), maka masih dimungkinkan dilakukan penelitian lebih lanjut dengan beberapa variasi model pengaduk dan parameter pengadukan yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh parameter pengadukan (sudut bilah dan putaran pengaduk) dan suhu tuang terhadap struktur mikro paduan aluminium ADC12.

2. METODOLOGI PENELITIAN

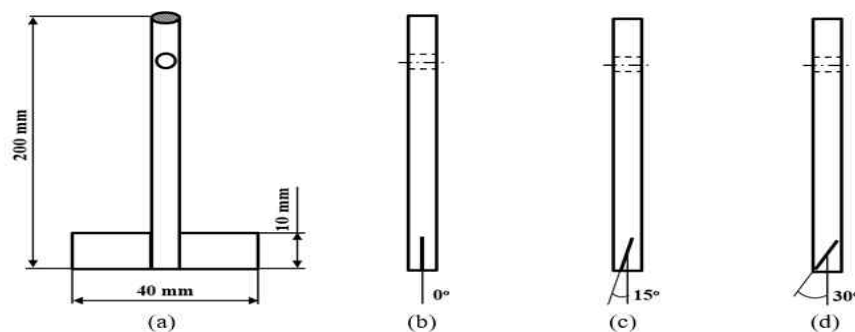
Pada penelitian ini menggunakan paduan aluminium ADC12. Berdasarkan hasil pengujian komposisi paduan aluminium ADC12 diperoleh data pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi paduan aluminium ADC12.

Paduan Aluminium ADC12	Weight %											
	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
	9.55	2.01	0.91	0.16	0.22	1.31	0.03	0.02	0.14	0.11	0.02	85.49

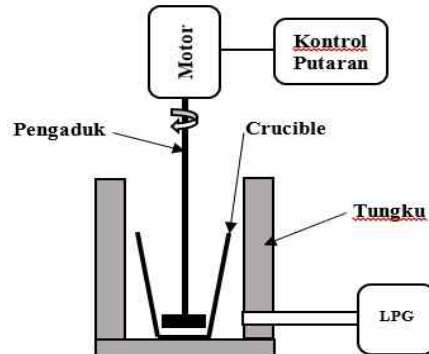
Berdasarkan hasil pengujian komposisi ini dapat diketahui bahwa prosentase unsur Si yang terbesar, sehingga suhu tuang minimum berdasarkan diagram fasa Al-Si adalah 600°C , namun berdasarkan ASM Handbook [17], suhu cair paduan aluminium ADC12 adalah $516 - 582^\circ\text{C}$. Suhu tuang yang digunakan pada penelitian ini adalah 565 , 570 , dan 575°C .

Model pengaduk mekanik yang digunakan adalah pengaduk jenis turbin dua bilah. Variasi sudut bilah adalah 0° , 15° , dan 30° (Gambar 1).



Gambar 1. Model pengaduk jenis turbin dua bilah (a) dengan sudut bilah 0° (b), 15° (c), dan 30° (d)

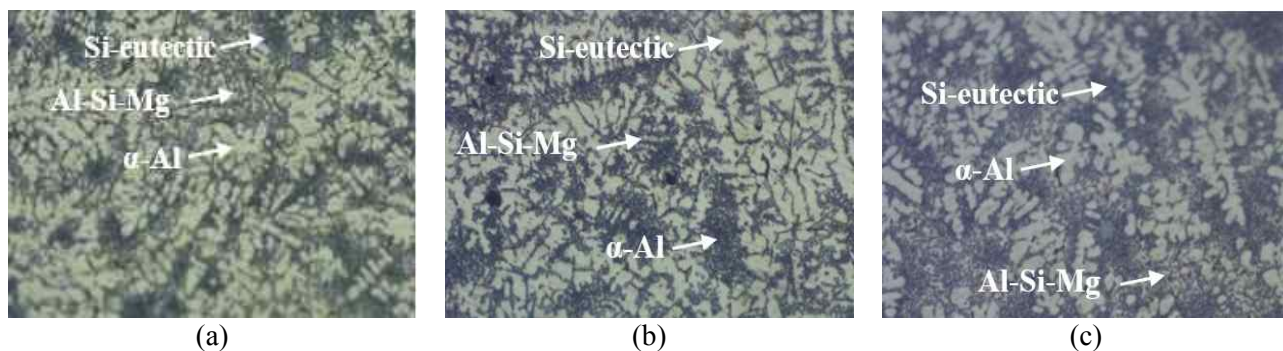
Bahan dan peralatan yang digunakan pada proses peleburan aluminium adalah aluminium ADC12, gas LPG, tungku pelebur, alat pengaduk, cetakan logam, tungku pemanas cetakan logam, alat pengatur putaran, pengukur temperatur jenis infrared dan thermocouple, dan alat pelindung panas. Gambar skematik dari proses pengecoran dapat dilihat pada Gambar 2. Aluminium yang telah dilebur dan dituang selanjutnya dibuat spesimen uji struktur mikro. Hasil pengujian struktur mikro dianalisis menggunakan software ImageJ.



Gambar 2. Skema proses pengecoran semi solid

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

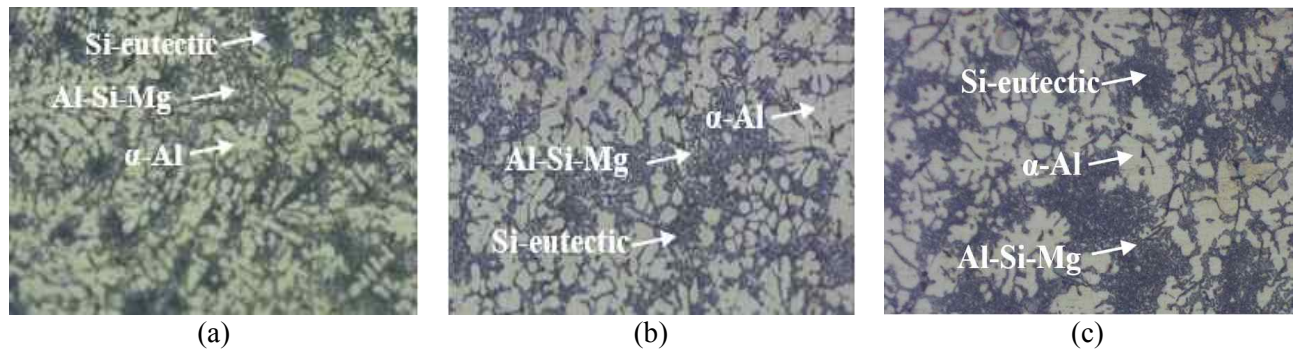
Gambar 3 memperlihatkan perbandingan struktur mikro pada paduan aluminium ADC12 yang diaduk dengan pengaduk mekanik (variasi sudut bilah pengaduk, pembesaran 200X, suhu tuang 565°C, putaran 400 rpm dan waktu pengadukan selama 20 detik).



Gambar 3. Struktur mikro ADC12 hasil pengecoran dengan metode stir casting (sudut bilah; 0° (a), 15° (b), dan 30° (c))

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 3a dapat dilihat bahwa unsur silicon (warna hitam) pada paduan aluminium lebih merata di dalam matriks aluminium (warna putih) yang diaduk dengan sudut bilah pengaduk 0° bila dibandingkan dengan struktur mikro pada Gambar 3b (sudut bilah pengaduk 15°) dan Gambar 3c (sudut bilah pengaduk 30°). Bila unsur Si relatif lebih merata, maka sifat mekanik paduan aluminium ADC12 lebih baik. Jika ditinjau dari ukuran butir, maka Gambar 3a memiliki ukuran butir relatif lebih kecil dan merata dari pada ukuran butir pada Gambar 3b dan Gambar 3c. Ukuran butir yang lebih kecil memiliki sifat mekanik yang lebih baik.

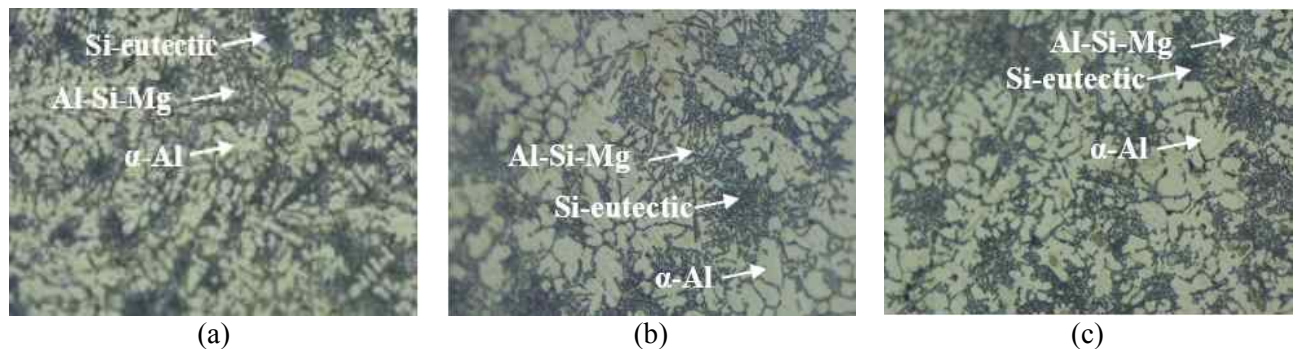
Gambar 4 memperlihatkan perbandingan struktur mikro pada paduan aluminium ADC 12 yang diaduk dengan pengaduk mekanik (variasi putaran, pembesaran 200X, sudut bilah 0°, suhu tuang 565°C, dan waktu pengadukan selama 20 detik).



Gambar 4. Struktur mikro ADC 12 hasil pengecoran dengan metode stir casting (putaran pengaduk; 400 rpm (a), 500 rpm (b), dan 600 rpm(c))

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 4a dapat dilihat bahwa unsur Si (warna hitam) pada paduan aluminium lebih merata di dalam matriks aluminium (warna putih) yang diaduk dengan putaran pengaduk 400 rpm bila dibandingkan dengan struktur mikro pada Gambar 4b (500 rpm) dan Gambar 4c (600 rpm). Bila unsur Si relatif lebih merata, maka sifat mekanik paduan aluminium ADC12 lebih baik. Jika ditinjau dari ukuran butir, maka Gambar 4a memiliki ukuran butir relatif lebih kecil dan merata dari pada ukuran butir pada Gambar 4b dan Gambar 4c.

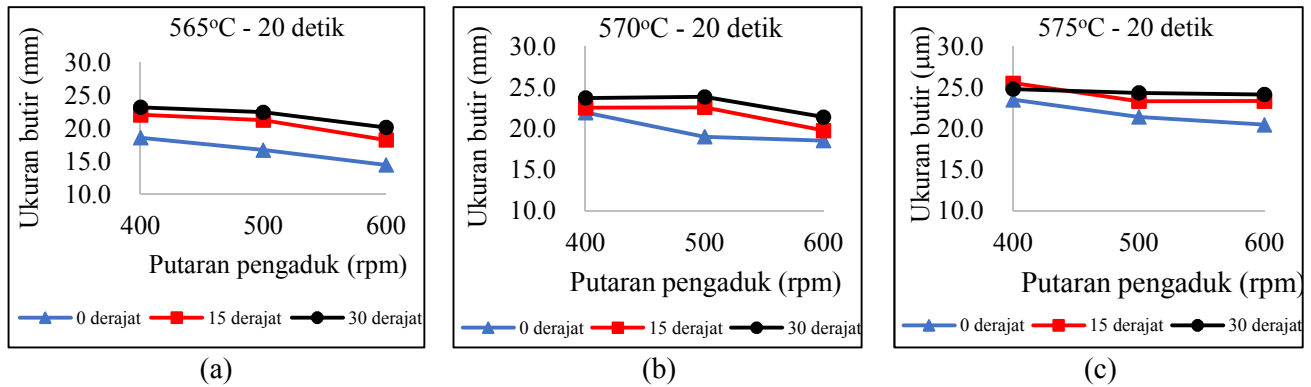
Gambar 5 memperlihatkan perbandingan struktur mikro pada paduan aluminium ADC 12 yang diaduk dengan pengaduk mekanik (variasi suhu tuang, pembesaran 200X, sudut bilah 0° , putaran pengaduk 400 rpm, dan waktu pengadukan selama 20 detik).



Gambar 5. Struktur mikro ADC 12 hasil pengecoran dengan metode stir casting (suhu tuang; 565°C (a), 570°C (b), dan 575°C (c))

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 5a dapat dilihat bahwa unsur silikon (warna hitam) pada paduan aluminium lebih merata di dalam matriks aluminium (warna putih) yang dituang pada suhu 565°C bila dibandingkan dengan struktur mikro pada Gambar 5b (suhu 570°C) dan Gambar 5c (suhu 575°C). Bila unsur silikon lebih merata, maka sifat mekanik paduan aluminium ADC12 lebih baik. Jika ditinjau dari ukuran butir, maka Gambar 5a memiliki ukuran butir relatif lebih kecil dan merata dari pada ukuran butir pada Gambar 5b dan Gambar 5c.

Berdasarkan foto struktur mikro, maka dilakukan proses pengukuran ukuran butir dengan menggunakan software Image J. Grafik hubungan antara ukuran butir dan putaran pengaduk paduan aluminium ADC12 dapat dilihat pada Gambar 6.

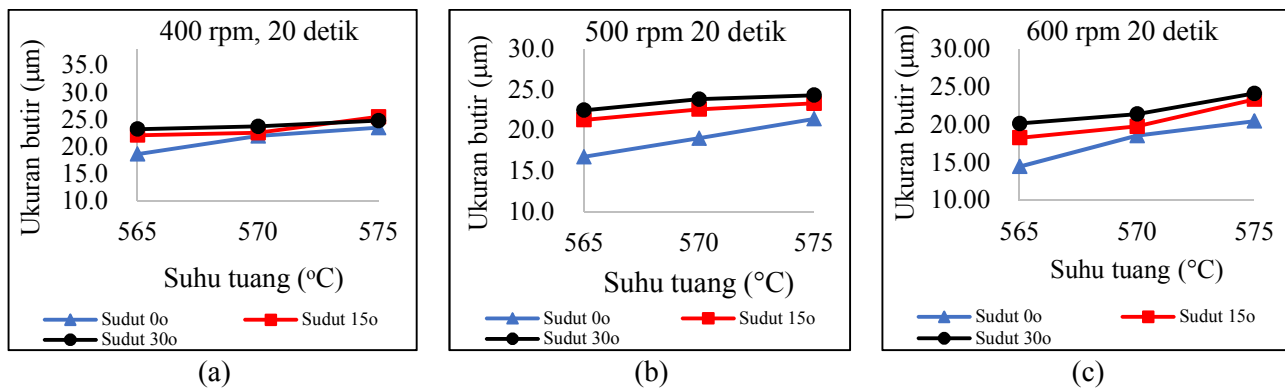


Gambar 6. Grafik ukuran butir ADC12 terhadap putaran pengaduk

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 6 bahwa semakin besar putaran pengaduk maka ukuran butir semakin kecil. Hal ini terjadi karena dengan meningkatnya kecepatan putar pengaduk maka gaya geser yang diberikan kepada slurry aluminium semakin besar. Gaya geser yang diberikan pada slurry aluminium akan menghambat pertumbuhan butir sehingga struktur dendritik dapat diubah menjadi *non-dendritic*. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Reisi and Niroumand [17] yang menyatakan bahwa pengadukan ditunjukkan untuk mempengaruhi ukuran partikel rata-rata terutama selama tahap awal pembekuan. Meskipun faktor bentuk rata-rata partikel primer relatif tidak sensitif terhadap variasi besar dalam kecepatan pengadukan, kecepatan pengadukan yang lebih tinggi membuat bentuk dan ukuran partikel primer lebih seragam. Kecepatan pengadukan yang lebih tinggi juga menghasilkan aglomerat partikel primer yang lebih kecil dan lebih bulat.

Bila ditinjau dari variasi sudut bilah pengaduk, maka sudut bilah 0° menghasilkan ukuran butir lebih kecil dari sudut bilah lainnya (15° dan 30°). Fenomena ini terjadi pada suhu tuang 565°C, 570°C, dan 575°C. Pada temperatur pengadukan 570°C (5°C di atas suhu tuang), fraksi padat pada cairan paduan aluminium ADC12 sudah tinggi sehingga dendrit yang terbentuk pada awal pembekuan tidak terlalu kuat dan dapat patah bila diberi agitasi. Selanjutnya, akibat proses pengadukan, patahan dendrit tersebut berubah bentuk menjadi non dendritis dan ukuran butir lebih kecil. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yamamoto [13] yang menyatakan bahwa sudut bilah pengaduk mempengaruhi kekuatan dan arah aliran pelepasan. Kekuatan aliran pelepasan menjadi lebih lemah dengan meningkatkan sudut bilah, sedangkan arah aliran dipengaruhi oleh permukaan sudu impeller dan interval ruang antara sudu yang berdekatan. Struktur pusaran (*trailing vortices*) juga bervariasi tergantung pada sudut impeller.

Pada penelitian ini juga dianalisa hubungan antara ukuran butir dan suhu tuang. Grafik hubungan antara ukuran butir dan suhu tuang paduan aluminium ADC12 dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik diameter butir ADC12 terhadap suhu tuang

Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 7 diketahui bahwa semakin besar suhu tuang maka ukuran butir paduan aluminium ADC12 semakin besar. Hal ini dapat terjadi karena pada suhu tuang yang lebih tinggi memiliki fraksi padat yang lebih kecil sehingga waktu pertumbuhan butir lebih banyak yang menyebabkan ukuran butir lebih besar. Hasil ini sudah sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Das et al [18] yang menyatakan bahwa fraksi padat semakin meningkat seiring dengan menurunnya suhu tuang.

4. KESIMPULAN

Struktur mikro paduan aluminium ADC12 dibuat dengan teknologi pengecoran semi solid menggunakan model pengadukan mekanis telah dipelajari. Hasil yang diperoleh dapat disimpulkan: a). Terdapat perbedaan struktur mikro dari paduan aluminium ADC12 setelah pengecoran semi solid menggunakan pengaduk mekanis jenis turbin dengan 3 variasi sudut bilah, b). Semakin tinggi kecepatan putar maka nilai diameter butir semakin besar dan semakin tinggi suhu tuang maka nilai diameter butir semakin besar, c). Model pengaduk mekanis dengan sudut bilah 0° menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil dari sudut bilah pengaduk lainnya (sudut bilah 15° , dan 30°), dan d). Ukuran butir terkecil terjadi pada sudut bilah 0° , suhu tuang 565°C , dan putaran 600 rpm sebesar $14.46\ \mu\text{m}$.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mohammad Mezbahul-Islam, Ahmad Omar Mostafa and Mamoun Medraj. Essential Magnesium Alloy Binary Phase Diagrams and Their Thermochemical Data. Journal of Material. 33 pages, Volume 2014.
- [2]. R.S. Rudi, S. Kamado, N. Ikeya, T. Araki, and Y. Kojima. High Temperature Strength of Semi Solid Formed Mg-Zn-Al-Ca Alloys., Material Science Forum. Trans Tech Publications, Switzerland. Vols. 350-351. PP. 79-84. 2000.
- [3]. S.T. Johansen, S. Graadahl, and T.F. Hagelien. Entrainment of inclusions from the dross in stirred reactors for melt treatment. Appl. Math. Model. 28, 63–77, 2004.
- [4]. Warke, V.S., Tryggvason, G., Makhlof, M.M., Mathematical modeling and computer simulation of molten metal cleansing by the rotating impeller degasser Part I. Fluid flow. J. Mater. Process. Technol. 168, 112–118, 2005.
- [5]. Warke, V.S., Shankar, S., Makhlof, M.M. Mathematical modeling and computer simulation of molten cleansing by the rotating impeller degasser Part II. Removal of hydrogen gas and solid particles. J. Mater. Process. Technol. 168, 119–126, 2005.
- [6]. B.N. Murthy and J.B. Joshi, Assessment of standard k- ϵ , RSM and LES turbulence models in a baffled stirring vessel agitated by various impeller designs. Chem. Eng. Sci. 63, 5468–5495, 2008.
- [7]. Mirgaux, O., Ablitzer, D., Waz, E., Bellot, J.P. Mathematical modeling and computer simulation of molten aluminum purification by floatation in stirred reactor. Metall. Mater. Trans. B 40B, 363–374, 2009.
- [8]. Saternus, M., Influence of impeller shape on the gas bubbles dispersion in aluminium refining process. J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 55, 285–290, 2012.
- [9]. E.R. Gómez, R. Zenit, C.G. Rivera, G. Trápaga, and M.A. Ramírez-Argáez. Physical modeling of fluid flow in ladles of aluminum equipped with impeller and gas purging for degassing. Metall. Mater. Trans. B 44B, 974–983, 2013.
- [10]. M. Hernández-Hernández, J.L. Camacho-Martínez, C. González-Rivera, and M.A. Ramírez Argáez, Impeller design assisted by physical modeling and pilot plant trials. J. Mater. Process. Technol. 236, 1–8, 2016.
- [11]. D. Abreu-López, A. Amaro-Villeda, A. Acosta-González, C. González-Rivera, M.A. Ramírez Argáez. Effect of the impeller design on degasification kinetics using the impeller injector technique assisted by mathematical modeling. Metals 7, 132, 2017.
- [12]. E. Mancilla, W. Cruz-Méndez, I.E. Garduño, C. González-Rivera, M.A. Ramírez-Argáez, and G. Ascanio. Comparison of the hydrodynamic performance of rotor-injector devices in a water physical model of an aluminum degassing ladle. Chem. Eng. Res. 118, 158–164, 2017.
- [13]. T. Yamamoto, A. Suzuki, S.V. Komarov, and Y. Ishiwata. Investigation of impeller design and flow structures in mechanical stirring of molten aluminum Journal of Materials Processing Tech. 261 164-172, 2018.
- [14]. S. Rasyid, E. Arif, H. Arsyad, dan M. Syahid. Effect of the mechanical stirrer and pouring temperature on semi solid rheocasting of ADC12 al alloy: mechanical properties and microstructure. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. (13-6): 2032-2037, Marc. 2018.

- [15]. S. Rasyid, E. Arif, H. Arsyad, dan M. Syahid. Effects of stirring parameters on the rheocast microstructure and mechanical properties of aluminum alloy ADC12. MATEC Web of Conferences 197, 12004, Sept. 2018.
- [16]. ASM Handbook. 1990. Properties and Selection: Non-ferrous Alloys and Special purpose Materials, ASM International, Materials Park, OH, 10th ed., vol. 2, 1990.
- [17]. M Reisi and B. Niroumand. Effects of Stirring Parameters on The Rheocast Structure of Al–7.1wt.%Si Alloy. Journal of Alloys and Compounds. 470: 413-419, 2009.
- [18]. P. Das, S.K. Samanta, H. Chattopadhyay, and P. Dutta. Effect of Pouring Temperature on Cooling Slope Casting of Semi-Solid Al-Si-Mg Alloy. Acta Metall. Sin. Vol.25 No.5 pp329-339, 2012.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada: 1). Pimpinan Politeknik Negeri Ujung Pandang atas dukungan dana yang diberikan, 2). Ketua, sekretaris, dan staf Pusat Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat PNUP atas arahan dan kepercayaan yang diberikan, dan 3). Tim pelaksana penelitian atas kerjasamanya dalam menyelesaikan penelitian ini.