

STUDI PENGARUH TEMPERATUR PEMASUKAN DAN PENGELUARAN BATANG PENGADUK TERHADAP PEMBENTUKAN STRUKTUR GLOBULAR PADA PROSES *RHEOCASTING*

Eko Surojo¹, Heru Sukanto¹, Teguh Triyono¹, Joko Susilo²

¹ Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

² Alumnus Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Rheocasting
Semisolid metal
Globular structure

Abstract :

The production process of globular structure of semisolid metal was investigated. The globular structure was obtained by mechanical stirring of molten metal during solidification. This process has been identified as rheocasting. In this work, a rotating steel rod was immersed in molten metal of Al-6.23% Si alloy. The rod cools the alloy below its liquidus temperature to initiate solidification while stirring the melt. The rod stirred the melt for short periods and then removed. Effects of rod immersion and removal temperature on morphology of globular structure was studied. Shape factor used to quantify primary morphology. Shape factor value 1 refers to perfectly spherical morphology and value close 0 for very complex shape. Results show that rod immersion and removal temperature had no significant effect on sphericity of primary morphology. Increasing of rod immersion temperature from 635 °C to 655 °C slightly decreased shape factor from 0.638 to 0.624. While increasing of rod removal temperature from 600 °C to 618 °C slightly decreased shape factor from 0.660 to 0.621. The semisolid metal obtained in this research immediately solidify after the rod removal so that it was unsuitable for direct shaping by die casting.

PENDAHULUAN

Salah satu usaha untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar di bidang otomotif adalah dengan menerapkan strategi penurunan bobot kendaraan. Implementasi dari strategi ini salah satunya adalah mengganti komponen otomotif berbahan paduan besi dengan paduan aluminium. Pemanfaatan paduan aluminium untuk pembuatan komponen otomotif juga diikuti dengan pengembangan di bidang teknologi prosesnya. Sebagai contoh, pada saat ini berkembang proses baru yang dinamakan proses *semisolid forming*. Penerapan proses *semisolid forming* di dalam pembuatan produk otomotif menguntungkan karena *cycle time* rendah, memperbaiki sifat, memperpanjang umur *tool/dies* dan menurunkan berat produk [1,2].

Terdapat dua klasifikasi proses *semisolid forming* yaitu *rheocasting* dan *thixocasting* (atau *thixoforging*). *Rheocasting* merupakan proses yang didahului oleh proses perlakuan fasa cair menjadi *semisolid* berstruktur non-denditik (globular) yang selanjutnya langsung membentuknya menjadi produk. Meskipun begitu *rheocasting* juga dapat memiliki pengertian sebagai proses pengecoran yang dilakukan dengan memberikan geseran pada logam cair yang sedang mengalami proses pembekuan untuk menghasilkan struktur globular. Sedangkan *thixocasting* melalui urutan tahapan proses yaitu penyiapan billet, memanaskan billet sampai kondisi *semisolid* berstruktur globular dan selanjutnya membentuknya menjadi produk [3]. Dalam kondisi

semisolid, fasa primer yang berbentuk bulat (globular) akan memudahkan terjadinya pergeseran diantara fasa primer tersebut pada saat diberikan gaya pembentukan [4].

Salah satu metode di dalam proses *semisolid forming* adalah *rheo-diecast* (RDC). Pada proses RDC, logam paduan cair yang akan diproses dimasukkan ke *twin-screw slurry maker*. *Twin-screw slurry maker* berfungsi untuk mengubah logam cair menjadi *semisolid slurry* (dimana fasa padatnya berbentuk globular) melalui pemberian beban geser pada laju regangan tinggi dan dalam kondisi aliran turbulen. Berikutnya bahan *semisolid* yang dihasilkan dari *twin-screw slurry maker* diproses menggunakan *cold chamber die casting*. Dari pengujian proses RDC pada paduan aluminium dapat dihasilkan spesimen (dalam kondisi *as-cast*) yang rendah porositasnya, halus dan seragam struktur mikronya, bagus dalam hal kekuatan dan keuletannya [5].

Proses untuk mendapatkan kondisi *semisolid* berstruktur globular dapat juga dilakukan dengan cara mengaduk logam cair di atas temperatur *liquidus* menggunakan batang pengaduk sampai terjadi penurunan temperatur logam cair yang menyebabkan terjadinya inisiasi pembekuan [2,6,7].

Indonesia yang memiliki banyak industri pengecoran berpeluang untuk ikut mengembangkan dan menerapkan proses *semisolid forming*. Proses ini dapat menjadi alternatif untuk memperbaiki proses pengecoran konvensional yang sekarang ada.

Berkaitan dengan kepentingan tersebut maka dilakukanlah penelitian ini. Fase awal penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan struktur globular yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan baku proses pengecoran konvensional seperti misalkan *die casting*. Tulisan ini difokuskan pada studi pengaruh temperatur pemasukan dan pengeluaran batang pengaduk terhadap pembentukan struktur globular dengan metoda pengadukan logam cair secara mekanik.

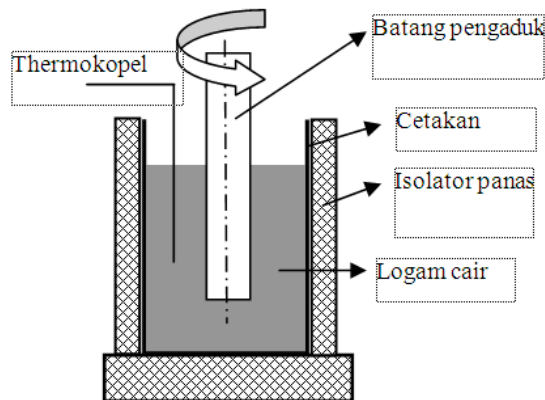
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang diteliti adalah paduan cor Al-Si hipoeutektik. Bahan ini diperoleh dengan cara melebur *velg* mobil. Komposisi kimia bahan yang diteliti ditunjukkan oleh Tabel 1. Dari kurva pendinginan diperoleh data bahan yaitu temperatur *solidus* 580 °C dan temperatur *liquidus* 620 °C.

Pengujian *rheocasting* dilakukan dengan cara memberikan geseran pada logam cair melalui pengadukan menggunakan batang pengaduk. Pengadukan dilakukan dari kondisi cair sampai logam mengalami pembekuan sebagian. Proses *rheocasting* ini ditunjukkan oleh Gambar 1 dan untuk parameter prosesnya dapat dilihat pada Tabel 2. Setiap parameter pengujian *rheocasting* diakhiri dengan pencelupan logam *semisolid* ke dalam air ketika logam *semisolid* tersebut mencapai temperatur 585°C.

Tabel 1. Komposisi kimia bahan yang diteliti

Al	Si	Fe	Cu	Mn
92,89	6,23	0,178	0,0017	0,015
Mg	Cr	Ni	Zn	Sn
0,411	0,0041	0,078	0,00	0,025
Ti	Pb	Be	Ca	Sr
0,177	0,0012	0,00	0,0017	0,036
V	Zr			
0,0207	0,013			



Gambar 1. Skema proses *rheocasting*

Tabel 2. Parameter proses

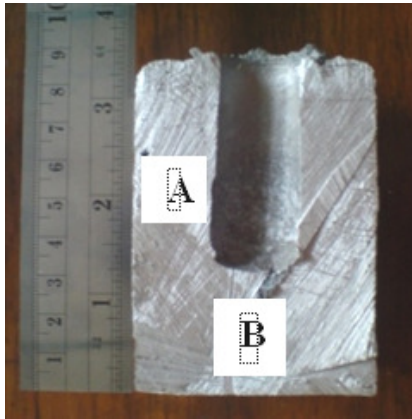
Parameter ke-	Temperatur Pemasukan Batang Pengaduk (T _M)	Temperatur Pengeluaran Batang Pengaduk (T _R)
Variasi parameter untuk mempelajari pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk		
1	635 °C	610 °C
2	645 °C	610 °C
3	655 °C	610 °C
Variasi parameter untuk mempelajari pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk		
1	635 °C	600 °C
2	635 °C	610 °C
3	635 °C	618 °C
Keterangan :		
1. Diameter batang pengaduk = 20 mm dan kecepatan putar batang pengaduk = 200 rpm		
2. Batang pengaduk tidak dilakukan pemanasan mula		
3. Bahan pengaduk adalah baja karbon.		
4. Cetakan dibuat dari pipa baja berdiameter 2 inch, tebal 1 mm dan tinggi 90 mm		

Sampel hasil pengujian *rheocasting* diamati struktur mikronya. Pengamatan struktur mikro dilakukan di daerah bawah pengaduk dan sekeliling pengaduk. Dengan bantuan *software image analysis*, gambar struktur mikro yakni fasa α (Al) primer diukur keliling, luas area dan diameternya. Keliling dan luas area butir ini digunakan untuk menghitung faktor bentuk (F) butir tersebut. Faktor bentuk merupakan angka yang menunjukkan tingkat kebulatan dari suatu butir. Faktor bentuk memiliki nilai antara 0 sampai dengan 1. Butir berbentuk lingkaran sempurna akan bernilai 1, sedangkan jika tidak bulat sempurna maka akan bernilai kurang dari 1. Persamaan 1 digunakan untuk menghitung faktor bentuk [3,8].

$$F = \frac{4 \cdot \pi \cdot (\text{luas area butir})}{(\text{keliling butir})^2} \tag{1}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

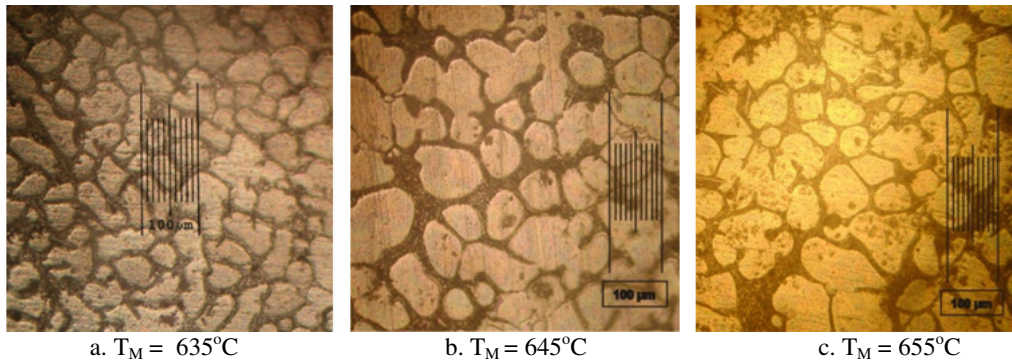
Semua sampel hasil *rheocasting* memperlihatkan terbentuknya rongga udara (Gambar 2) di bagian yang mengalami pengadukan. Rongga udara ini muncul karena logam *semisolid* tidak dapat mengalir ke posisi batang pengaduk ketika batang pengaduk tersebut dikeluarkan dari logam *semisolid*. Aliran logam *semisolid* tersebut terhalang oleh lapisan fasa padat yang terbentuk di sekeliling batang pengaduk. Hal ini dikarenakan batang pengaduk tidak dikenai pemanasan mula sehingga logam cair yang berkontak langsung dengan permukaan batang pengaduk akan turun di bawah temperatur *solidus*nya dan bertransformasi menjadi fasa padat.



Gambar 2. Sampel hasil *rheocasting*

Pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap struktur mikro hasil *rheocasting*

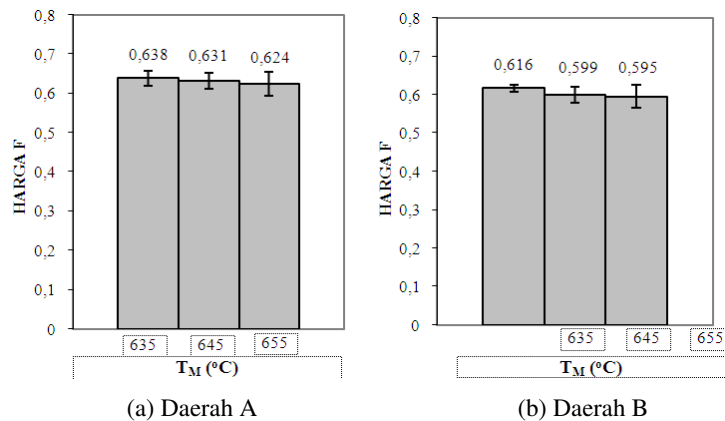
Hasil pengujian Gambar 3 menunjukkan bahwa ketiga variasi parameter proses *rheocasting* dapat menghasilkan struktur globular. Terbentuknya struktur globular ini berlangsung melalui mekanisme terpotongnya lengan dendrit akibat gaya pengadukan. Pada tahap awal pertumbuhannya, potongan dendrit akan berkembang menjadi dendrit. Akan tetapi dengan bertambahnya waktu dan gaya geser terus menerus diberikan selama pembekuan maka dendrit tersebut akan berubah menjadi roset. Berikutnya, karena laju pendinginannya relatif lambat dan laju regangan gesernya relatif tinggi maka bentuk roset tersebut berubah menjadi globular. Mekanisme terpotongnya dendrit juga dapat melalui pencairan akar lengan dendrit akibat gangguan temperatur selama pengadukan [2,3].



Gambar 3. Pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap struktur mikro di daerah A

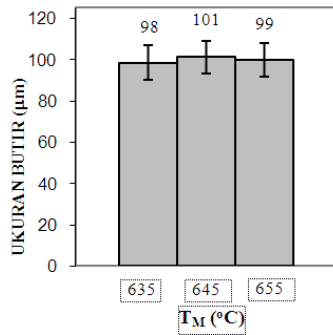
Selanjutnya pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap terhadap harga faktor bentuk F butir α (Al) primer hasil *rheocasting* diperlihatkan pada Gambar 4. Hasilnya menunjukkan bahwa pada temperatur pemasukan batang pengaduk 635°C menghasilkan harga faktor bentuk F tertinggi (0.638). Sedangkan temperatur pemasukan batang pengaduk 655°C menghasilkan harga faktor bentuk F terendah (0.624). Hal ini disebabkan karena kecenderungan untuk terbentuknya struktur globular

dipengaruhi oleh *superheat*. Pengaruhnya adalah semakin rendah *superheat* akan menghasilkan struktur yang semakin globular [9]. Akan tetapi hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap faktor bentuk F sangatlah kecil. Selain itu terdapat sedikit perbedaan harga F di daerah A dan B. Perbedaan ini disebabkan karena efek pengadukan di daerah A lebih besar dibandingkan di daerah B.



Gambar 4. Pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap harga F

Pada daerah pengamatan A dengan variasi temperatur pemasukan batang pengaduk memperlihatkan ukuran butir rata-rata α (Al) primer relatif sama (Gambar 5). Hal ini disebabkan karena ketiga variasi parameter tersebut menghasilkan laju pendinginan yang relatif sama (Tabel 3). Laju pendinginan pada saat logam cair mengalami pembekuan berpengaruh terhadap ukuran butir α primer [2].



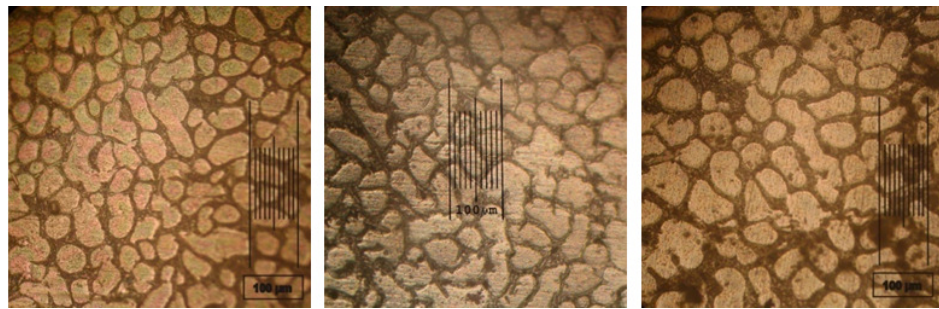
Gambar 5. Pengaruh temperatur pemasukan batang pengaduk terhadap ukuran butir di daerah A

Tabel 3. Laju pendinginan pada variasi temperatur pemasukan batang pengaduk

T_M (°C)	Laju Pendinginan (°C/s)
635	1,72
645	1,55
655	1,60

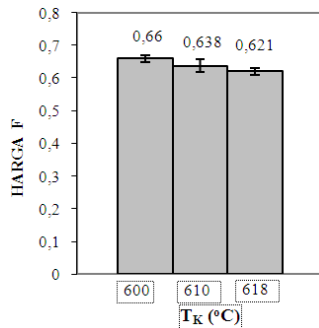
Pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap struktur mikro hasil rheocasting

Pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap struktur mikro diperlihatkan Gambar 6. Hasilnya menunjukkan bahwa ketiga variasi parameter proses *rheocasting* dapat menghasilkan struktur globular. Gambar 7 memperlihatkan bahwa temperatur pengeluaran batang pengaduk 600°C menghasilkan harga faktor bentuk F tertinggi (0.660). Sedangkan temperatur pengeluaran batang pengaduk 618°C menghasilkan harga faktor bentuk F terendah (0.621). Hal ini disebabkan karena semakin tinggi temperatur pengeluaran batang pengaduk maka rentang waktu antara pengeluaran batang pengaduk sampai dengan logam *semisolid* di *quenching* semakin lama. Akibatnya fasa padat α (Al) primer hasil pengadukan yang awalnya berbentuk globular akan tumbuh membesar dan efeknya dapat mengurangi globularitas. Akan tetapi hasil ini juga menunjukkan bahwa pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap faktor bentuk F sangatlah kecil.

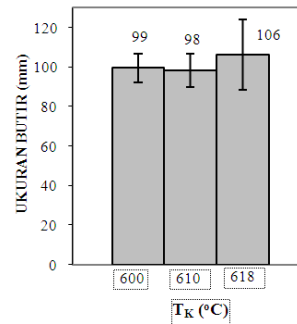


a. $T_K = 600^\circ\text{C}$ b. $T_K = 610^\circ\text{C}$ c. $T_K = 618^\circ\text{C}$

Gambar 6. Pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap struktur mikro di daerah A



Gambar 7. Pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap harga F di daerah A



Gambar 8. Pengaruh temperatur pengeluaran batang pengaduk terhadap ukuran butir di daerah A

Variasi pengeluaran batang pengaduk juga memperlihatkan ukuran butir rata-rata α (Al) primer yang relatif sama (Gambar 8). Hal ini disebabkan karena ketiga variasi parameter tersebut memiliki laju pendinginan yang relatif sama (Tabel 4).

Tabel 4. Laju pendinginan pada variasi temperatur pengeluaran batang pengaduk

Variasi temperatur (°C)	Laju Pendinginan (°C/s)
635–600	1,45
635–610	1,72
635–618	1,5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Temperatur pemasukan batang pengaduk dan temperatur pengeluaran batang pengaduk pada proses *rheocasting* tidak terlalu berpengaruh terhadap harga faktor bentuk α primer. Peningkatan temperatur pemasukan batang pengaduk dari 635°C ke 655°C menurunkan sedikit harga faktor bentuk struktur globular dari 0.638 ke 0.624. Sementara peningkatan temperatur pengeluaran batang pengaduk dari 600°C ke 618°C menurunkan sedikit harga faktor bentuk struktur globular dari 0.660 ke 0.621.
2. Temperatur pemasukan (635–655°C) dan pengeluaran batang pengaduk (600–618°C) tidak terlalu berpengaruh terhadap ukuran butir α primer. Dari pengujian *rheocasting* diperoleh ukuran butir α primer berkisar antara 98 sampai dengan 106 μm .
3. Logam *semisolid* yang dihasilkan dari penelitian ini mengalami pembekuan sesaat setelah pengadukan sehingga tidak dapat langsung diproses lebih lanjut misalkan dicor dengan *die casting*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada DP2M Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Hibah Bersaing Pendanaan Tahun 2009.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Winterbottom, W.L., 2000, “Semi-Solid Forming Application : High Volume Automotive Products”, *Metallurgical Science and Technology*, Vol.18, No. 2, 5–10.
- [2] Flemings, M.C., 1991, “Behavior of Metal Alloys in The Semisolid State”, *Metallurgical Transactions A*, Vol. 22A, 957–981.
- [3] Fan, Z., 2002, “Semisolid Metal Processing”, *International Materials Reviews*, Vol. 47, No.2.
- [4] Lashkari, O. and Ghomashchi, R., 2007, “The implication of Rheology in Semi-Solid State Metal Process : An overview”, *Journal of Materials Processing Technology*, 182, 229–240.
- [5] Fan, Z. , Fang, X., and Ji, S., 2005, “Microstructure and Mechanical Properties of Rheo-diecast (RDC) Aluminium Alloys”, *Materials Science and Engineering*, A 412.
- [6] Yurko, J.A., Martinez, R.A., and Flemings., M.C., 2003, “Comercial Development of Semi-Solid Rheocasting (SSRTM) Process”, *Metallurgical Science and Technology*, Vol. 21, No.1.
- [7] Antara, N.G., Tabuchi, S., Suzuki, K., Kamado, S., and Kojima, Y., 2005, “Refining Nuclei and Distributing Spherical Primary Crystals in Billets for Semi-Solid Casting”, *Journal of Materials Online*, <http://www.azom.com>.
- [8] Guo, H., Yang, X. and Hu, H., 2008, “Low Superheat Pouring in Rheocasting of Aluminium Alloys”, *Journal of Wuhan University of Technology–Mater. Sci. Ed.*, Vol. 23, No. 1.
- [9] Zhu, M.F., Kim, J.M., and Hong, CP., 2001, “Modeling of Globular and Dendritic Structure Evolution in Solidification of an Al–7% Mass Si Alloy”, *ISIJ International*, Vol.41, No. 9, 992–998.