

Pengaruh Kadar Besi Terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Al-Fe-Si dan Nilai Fluiditas Paduan Hipoeutektik Aluminium Silikon

Bambang Suharno, Is Prima Nanda dan Agung Baskoro

Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Indonesia

E-mail: suharno@metal.ui.ac.id

Abstrak

Nilai fluiditas merupakan salah satu hal penting yang menentukan sifat mampu alir logam cair pada proses pengecoran. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar besi, yaitu 0,5 wt%, 1,0 wt%, 1,4 wt% dan 1,8 wt%, terhadap nilai fluiditas dan morfologi fasa intermetalik yang terbentuk pada paduan induk (master alloy) Al-7wt%Si. Pengukuran nilai fluiditas dilakukan dengan menggunakan alat uji fluiditas vakum pada temperatur tuang 660°C, 680°C, 700°C dan 720°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan peningkatan kadar besi sampai dengan 1,8 wt% maka nilai fluiditas paduan Al-7wt%Si akan semakin menurun, dikarenakan ukuran dan jumlah fasa intermetalik yang berbentuk jarum (β -Al₃FeSi) akan semakin bertambah. Selain itu dengan penambahan kadar besi maka fraksi volum fasa intermetalik yang terbentuk akan semakin besar sehingga dapat meningkatkan viskositas paduan.

Kata kunci: Fasa intermetalik Al-Fe-Si, fluiditas, paduan aluminium silikon hipoeutektik dan pengaruh besi

Abstract

In casting process, fluidity is the most important property to determine the flowability of molten metals. The aims of the research are to understand the influence of iron content addition of 0.5 wt%, 1.0 wt%, 1.4 wt% and 1.8 wt%, on the fluidity and morphology of intermetallic phases formed in master alloy Al-7wt%Si. The research was conducted by using the vacuum suction test at varied temperatures, 660°C, 680°C, 700°C and 720°C. The results showed that increasing of iron content will reduce fluidity of Al-7wt%Si alloy due to the increasing of size and amount of intermetallic phases, specially β -Al₃FeSi phase. The other hand increasing of iron content will increase volume fraction of intermetallic phases that cause the increasing of viscosity.

Keywords: Al-Fe-Si intermetallic phase, fluidity, hypoeutectic aluminum silicon alloy and effect of iron

1. Pendahuluan

Besi merupakan elemen pengotor dalam paduan aluminium tuang yang bersifat merusak jika kadarnya berlebih [1],[2]. Kehadiran elemen ini dalam paduan aluminium umumnya dihasilkan dari penggunaan peralatan baja dan penambahan material scrap saat proses pengecoran [3]. Pada kondisi kesetimbangan, kelarutan padatan besi dalam larutan padat aluminium sangat rendah (~0.052% pada 660°C) sehingga besi akan dapat bereaksi dengan Al dan Si membentuk senyawa intermetalik yang stabil secara termodinamik yaitu

Al₈Fe₂Si (dikenal dengan fasa- α) dan Al₅FeSi (dikenal dengan fasa- β)^[1,2]. Fasa lain yang umum terbentuk jika ada Mn dan Si adalah Al₁₅(Fe,Mn)₃Si₂ (juga dikenal dengan fasa- α) [1].

Dalam mikrostruktur, fasa Al₈Fe₂Si umumnya tampak seperti *chinese script* (karakter Cina) dan fasa ini tidak terlalu memberikan pengaruh buruk terhadap sifat mekanis komponen karena bentuknya lebih kompak dan lebih tersebar dengan matriks aluminium sehingga menghasilkan kohesi (perpaduan) yang lebih baik [1]. Sementara fasa Al₅FeSi (fasa- β) umumnya berbentuk

platelet (lempeng) tetapi dalam dua dimensi terlihat seperti jarum. Fasa tersebut mempunyai efek menurunkan sifat mekanik dan sifat mampu cor paduan Al-Si. Fasa intermetalik ini sangat keras sehingga menyulitkan proses permesinan komponen hasil cor^[1]. Hal ini dikarenakan morfologi yang berbentuk jarum dapat berperan sebagai *stress raiser* (pemacu tegangan) sehingga merusak sifat mekanis komponen [1].

Pada paduan aluminium silikon dengan peningkatan kadar besi maka ukuran dan densitas fasa intermetalik yang mengandung besi (umumnya fasa β -AlFeSi) juga akan meningkat. Semakin tinggi kadar besi dalam paduan Al-Si, akan meningkatkan panjang jarum-jarum intermetalik fasa- β yang terbentuk. Intermetalik fasa- β ini secara langsung berpartisipasi dalam mekanisme perpatahan sehingga dengan banyaknya fasa intermetalik yang terbentuk maka keuletan paduan akan menurun [3].

Disamping itu dengan peningkatan kadar besi maka jumlah porositas juga akan meningkat sehingga menurunkan keuletan dan kekuatan tarik paduan [3]. Hal ini dikarenakan kehadiran fasa β -Al₃FeSi dalam leburan paduan aluminium dapat menghalangi fluiditas dan proses *feeding*, (pemasukan logam cair) serta menghasilkan *shrinkage porosity* (porositas karena penyusutan) yang dapat menurunkan sifat mampu cor paduan (*castability*). Fasa- β dapat menghalangi saluran aliran interdendritik sehingga akan menurunkan permeabilitas paduan. Dengan penurunan permeabilitas maka gas-gas yang terperangkap dalam paduan tidak dapat dikeluarkan dengan sempurna sehingga akan menghasilkan porositas pada produk [3].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kehadiran elemen besi dalam paduan Al-Si dapat menurunkan nilai fluiditas paduan aluminium silikon karena tingkat kemurnian aluminium akan berkurang [4]-[6]. Penurunan nilai fluiditas paduan aluminium cair ini tidak disertai dengan perubahan tegangan permukaan

yang cukup besar, namun penurunan nilai fluiditas tersebut dikarenakan jumlah fasa besi yang tidak larut dalam paduan aluminium meningkat [4],[7]. Hal ini dikarenakan fasa besi yang tidak larut (intermetalik) tersebut dapat mengganggu proses *feeding* karena saluran interdendritik akan terhalang oleh fasa intermetalik sehingga membebani aliran logam cair untuk masuk ke dalam cetakan [8]-[10]. Selain itu dengan penambahan kadar besi maka akan meningkatkan *internal friction* (friksi internal) paduan sehingga viskositas akan meningkat [11]. Hal ini akan menurunkan nilai fluiditas paduan aluminium.

Namun penelitian mengenai pengaruh unsur besi terhadap nilai fluiditas masih terbatas dan umum. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kadar besi terhadap mikrostruktur fasa intermetalik yang terbentuk serta pengaruh morfologi mikrostruktur fasa intermetalik terhadap nilai fluiditas paduan Al-Si hipoeutektik.

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini digunakan *master alloy* (paduan induk) Al-7wt%Si sehingga pengaruh unsur besi terhadap nilai fluiditas dan morfologi fasa intermetalik lebih akurat. Komposisi kimia *master alloy* Al-7wt%Si ditunjukkan pada Tabel 1. Elemen besi ditambahkan dalam bentuk bubuk serbuk paduan Al-80%Fe dengan efektivitas 95%Fe sehingga diperlukan penambahan berat paduan Al-80%Fe sebesar 5% pada setiap variabel komposisi. Konsentrasi elemen besi yang ditambahkan divariasikan yaitu 0,5%, 1,0%, 1,4% dan 1,8%.

Master alloy Al-7wt%Si diletakkan ke dalam bejana (kowi) yang berkapasitas 1400 gr, kemudian dipanaskan dengan menggunakan dapur krusibel berbahan bakar briket batu bara.

Setelah seluruh *master alloy* melebur, dilakukan proses *fluxing* dimana *cover flux* ditaburkan ke atas permukaan aluminium cair untuk mengikat kotoran-kotoran, berupa oksida maupun pengotor lainnya,

yang terdapat di dalam aluminium cair. Elemen besi ditambahkan sesuai dengan kadar yang diinginkan pada temperatur 800°C. Kemudian leburan diaduk (*stirring*) agar elemen besi dapat larut secara homogen. Setelah elemen besi dipastikan larut, dapur krusibel dimatikan sehingga temperatur leburan akan menurun dengan dimonitor menggunakan *thermocouple* (tipe *portable digital*). Ketika temperatur leburan sekitar 750°C (sebelum pengujian fluiditas dilakukan), dilakukan proses *degassing* untuk membersihkan gas-gas yang larut akibat temperatur tinggi. Proses *degassing* ini dilakukan selama 1 menit dengan menggunakan gas inert (gas argon).

Pengujian fluiditas dilakukan pada temperatur tuang 720°C, 700°C, 680°C, dan 660°C yang masing-masing berjumlah 2 sampel dan dirata-rata untuk mendapatkan nilai yang representatif. Pengujian fluiditas paduan Al-7wt%Si dilakukan dengan menggunakan alat uji fluiditas *vacuum suction* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Alat uji fluiditas vakum terdiri atas dua sistem, yaitu:

1. Sistem vakum, yang berfungsi untuk memberikan tekanan vakum tertentu (8

kg/inch²) ke dalam pipa tembaga yang dibangkitkan melalui generator vakum. Tekanan ini dijaga oleh *vacuum chamber* yang telah dikalibrasi melalui *pressure calibration method*, sebelum dialirkan ke suatu batang yang memiliki katup otomatis.

2. Sistem kontrol pergerakan, dibangkitkan oleh kompresor yang akan menggerakkan piston sehingga pipa tembaga dapat naik-turun dengan stabil.

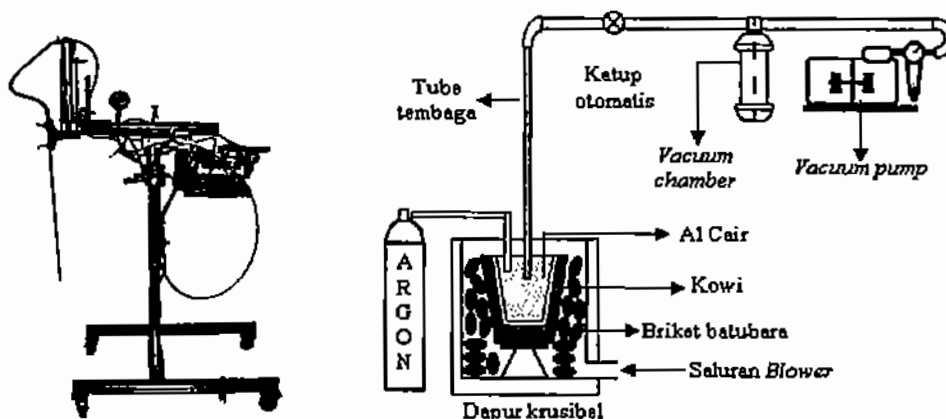
Pengambilan sampel dilakukan secara semi-otomatis dimana piston akan menurunkan pipa tembaga ke dalam kowi. Dengan menekan tuas pada alat uji fluiditas vakum, pipa tembaga yang telah dipasang akan bergerak turun dengan bantuan hidrolik.

Saat pipa mencapai bawah dan masuk ke dalam aluminium cair, sensor pada alat tersebut tertekan dan vakum akan menghisap logam cair dengan tekanan yang telah diatur. Proses penghisapan ini dibuat konstan hanya dalam waktu 3 detik untuk setiap sampel. Panjang fluiditas dapat terlihat secara visual dengan melihat jejak oksidasi yang berwarna hitam keabuan di sepanjang pipa tembaga.

Tabel 1.

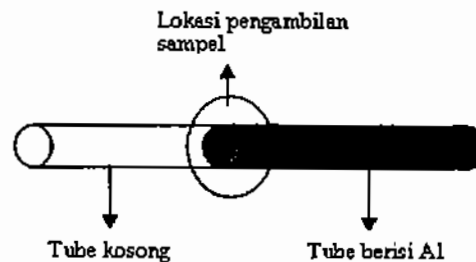
Komposisi Kimia *Master Alloy* Al-Si Hipoeutektik

Al	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Ti	Sn	Pb	Ca	P
92.75	7.03	0.13	0.05	0.001	0.0015	0.009	0.008	0.012	0.001	0.0002



Gambar 1.

Alat Uji Fluiditas *Vacuum Suction*



Gambar 2.
Hasil Pengujian Fluiditas

Kemudian pada beberapa tube (tabung) hasil pengujian fluiditas dilakukan pengambilan sampel untuk karakterisasi mikrostruktur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Pengamatan mikrostruktur dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk melihat morfologi dan ukuran fasa intermetalik yang terbentuk. Pada penelitian ini juga dilakukan karakterisasi (uji) *Energy-Dispersive Spectroscopy* (EDS) untuk memastikan bahwa fasa intermetalik yang terbentuk adalah AlFeSi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengaruh kadar besi terhadap mikrostruktur paduan Al-7wt%Si

Dikarenakan kelarutannya yang rendah besi akan tersisa dalam aluminium cair hingga akhir pembekuan, yang kemudian membeku dalam bentuk fasa intermetalik. Fasa intermetalik ini terbentuk diantara lengan-lengan dendrit aluminium yang telah membeku [13]. Gambar 3 ini merupakan foto mikrostruktur paduan Al-7wt%Si dengan kadar besi yang bervariasi.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan [2], morfologi fasa β -Al₃FeSi berbentuk seperti jarum sedangkan fasa α -Al₃Fe₂Si berbentuk seperti *chinese script*. Oleh karena itu, hal ini dijadikan sebagai acuan dalam menentukan fasa intermetalik yang terbentuk pada penelitian ini.

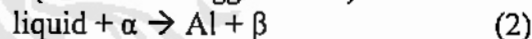
Dari Gambar 3 terlihat bahwa dengan bertambahnya kadar besi ukuran dan panjang fasa intermetalik yang terbentuk semakin bertambah. Tabel 2 merupakan hasil pengukuran panjang fasa intermetalik β pada temperatur tuang 700°C

Sementara untuk mengetahui tipe fasa intermetalik yang terbentuk dapat diprediksi dengan menggunakan diagram terner Al-Fe-Si, dan menggunakan atlas garis Scheil untuk menentukan garis segregasi (pembentukan dendrit aluminium).

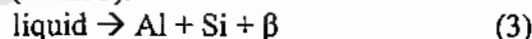
Dari Gambar 4 dijelaskan bahwa pada komposisi 0,5 wt% besi, proses pembekuan diawali dengan pembentukan α -Al primer (dendrit aluminium), yang dilambangkan oleh reaksi 1 (garis putus-putus).



Selama proses pembekuan, dendrit aluminium akan tumbuh sehingga sisa aluminium cair menjadi kaya akan besi dan silikon, hal ini akan berlanjut hingga reaksi 2 (antara 615 hingga 575 °C) dimulai.

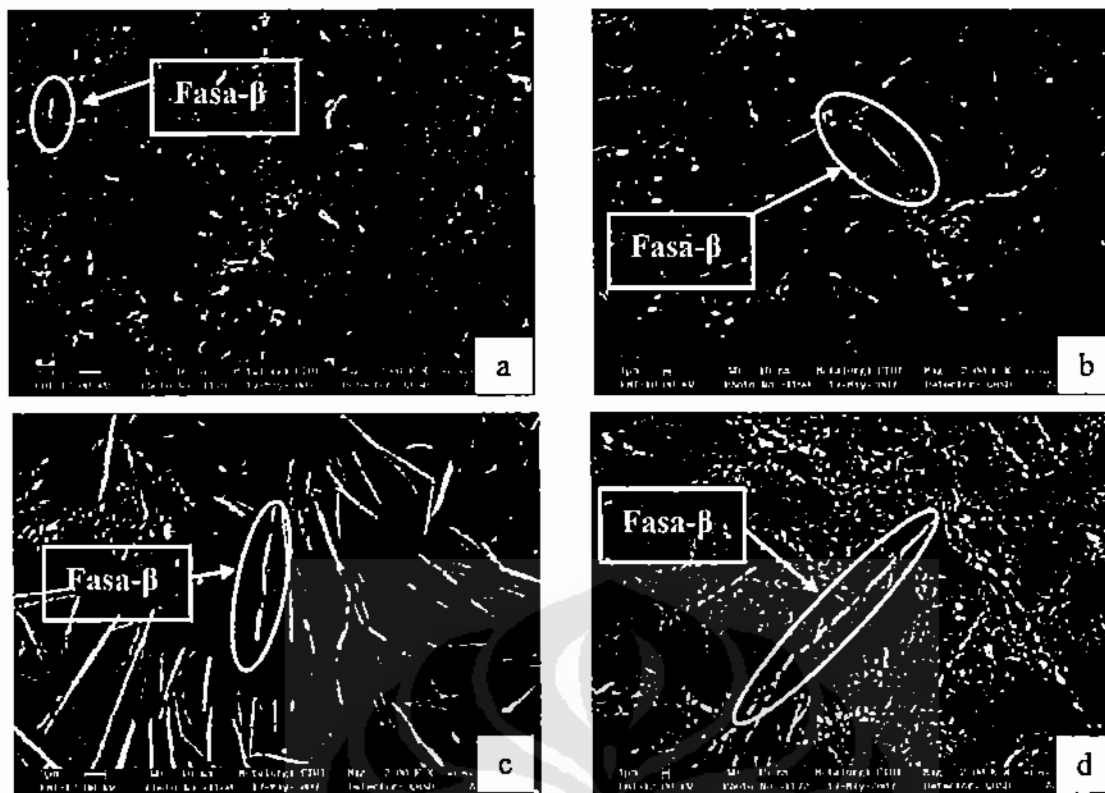


Pada reaksi 2 ini akan terjadi pertumbuhan fasa β -Al₃FeSi yang berlanjut hingga lembah eutektik (575 °C) tercapai (reaksi 3).



Sedangkan pada komposisi 1,0 wt% besi garis segregasi menjadi lebih pendek sehingga reaksi 2 (reaksi pembentukan fasa β -Al₃FeSi) akan terbentuk pada temperatur yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan rentang reaksi 2 menjadi lebih panjang sehingga fasa β -Al₃FeSi yang terbentuk akan lebih besar dan secara kuantitas akan lebih banyak.

Jadi jumlah fasa- β dalam paduan Al-7wt%Si akan semakin bertambah seiring dengan peningkatan kadar besi. Hal ini diperlihatkan pada foto hasil pengujian SEM (Gambar 3).



Gambar 3.

Foto Hasil Pengujian SEM, 700°C (2000X); (a) 0,5 wt% Fe, (b) 1,0 wt% Fe, (c) 1,4 wt% Fe dan (d) 1,8 wt% Fe

3.2. Pengaruh kadar besi terhadap morfologi dan ukuran fasa intermetalik

Fasa intermetalik AlFeSi memiliki berat jenis sekitar 3,58 gr/cm³ untuk fasa α-AlFeSi dan 3,35 gr/cm³ untuk fasa β-AlFeSi [1]. Berat jenis fasa intermetalik tersebut lebih besar daripada berat jenis aluminium (~2,7 gm/cm³) sehingga semakin besar jumlah intermetalik yang terbentuk akan menyebabkan berat jenis paduan akan meningkat secara keseluruhan.

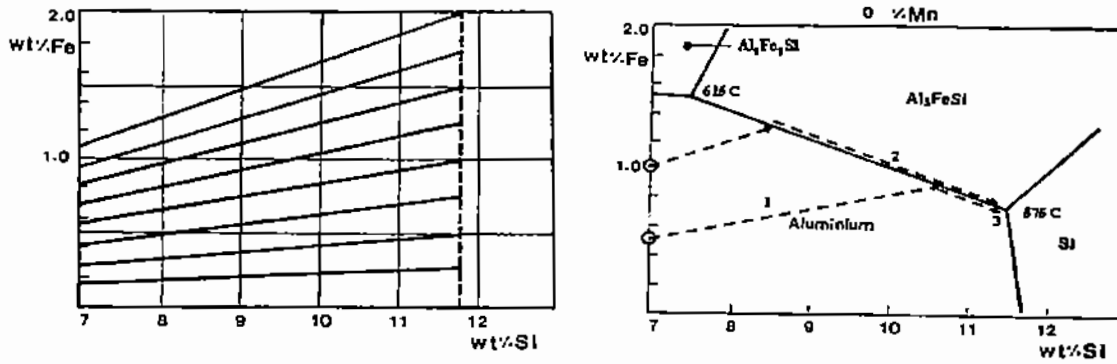
Perhitungan fraksi intermetalik dilakukan secara manual, yaitu dengan cara membandingkan luas fasa intermetalik dengan luas total (matrik + intermetalik) pada foto hasil pengujian SEM. Gambar 5 berikut ini merupakan proses perhitungan fraksi intermetalik.

Perhitungan ini dilakukan sebanyak tiga kali dimana hasil dari perhitungan tersebut dirata-ratakan sehingga mendapatkan hasil yang lebih representatif. Berikut ini merupakan grafik hasil perhitungan fraksi intermetalik pada paduan Al-7wt%Si.

Dari Gambar 6 di atas terlihat bahwa jumlah fraksi intermetalik AlFeSi semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar besi sehingga berat jenis paduan akan meningkat secara keseluruhan. Dengan meningkatnya berat jenis paduan maka viskositas paduan akan semakin tinggi sehingga fluiditas paduan akan semakin menurun. Hasil ini akan menyebabkan nilai fluiditas akan semakin menurun.

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Panjang Fasa-β

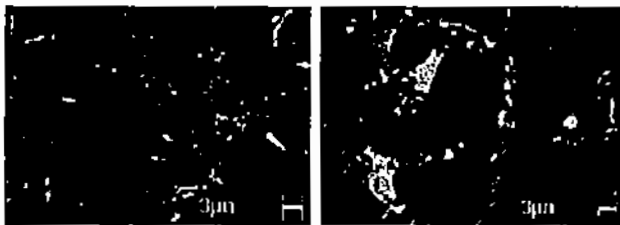
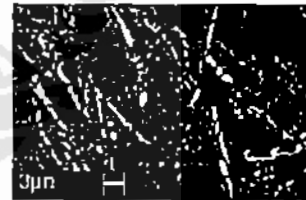
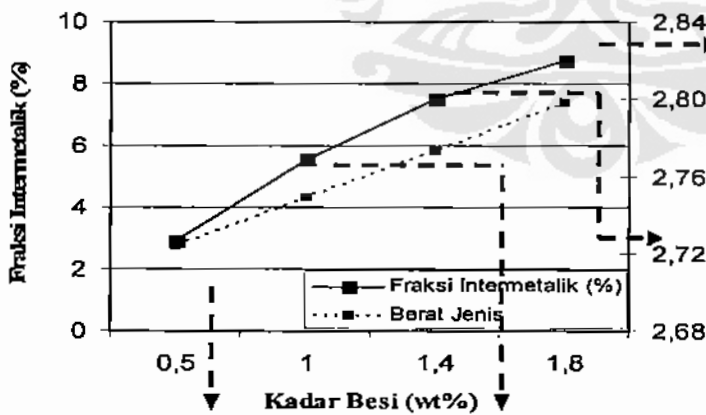
%Fe	0,5	1,0	1,4	1,8
L _β (μm)	2,5 – 6	3 – 12	5 – 20	6 – 44



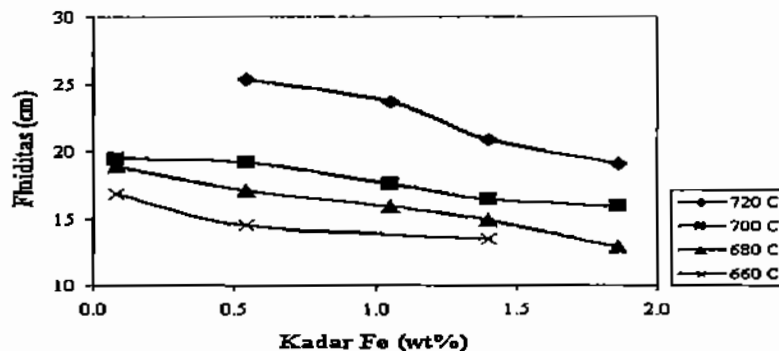
Gambar 4.
Aplikasi Atlas Scheil Pada Diagram Fasa Terner Al-Fe-Si [13].



Gambar 5.
Perhitungan Fraksi Intermetalik Pada Komposisi 1,4 wt%Fe, Temperatur Tuang 700°C



Gambar 6.
Grafik Pengaruh Kadar Besi Terhadap Jumlah Fraksi Intermetalik AlFeSi dan Berat Jenis Pada Paduan Al-Si Hipoeutektik (Temperatur Tuang 700°C)



Gambar 7.

Grafik Pengaruh Kadar Besi Terhadap Nilai Fluiditas Paduan Al-Si Hipoeutektik

3.3. Pengaruh kadar besi terhadap nilai fluiditas paduan Al-Si hipoeutektik

Dari Gambar 7 di bawah ini terlihat bahwa nilai fluiditas paduan Al-7wt%Si akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar besi.

Penurunan nilai fluiditas ini terjadi karena semakin besar kadar besi yang ditambahkan ke dalam paduan Al-7wt%Si, maka jumlah fasa besi (intermetalik) yang tidak larut akan semakin besar. Seperti yang telah dijelaskan bahwa berat jenis fasa intermetalik lebih besar daripada berat jenis aluminium sehingga semakin besar jumlah intermetalik yang terbentuk akan menyebabkan berat jenis paduan akan meningkat secara keseluruhan. Hal ini akan meningkatkan viskositas paduan Al-7 wt %Si. Selain itu, penurunan nilai fluiditas juga disebabkan oleh fasa- β yang berbentuk jarum. Fasa intermetalik ini akan terbentuk diantara lengan-lengan dendrit aluminium dan akan menghalangi saluran interdendritik sehingga dapat membebani aliran logam cair untuk masuk ke dalam cetakan. Oleh karena itu, jika fasa intermetalik yang terbentuk semakin besar maka proses *feeding* (pengisian aluminium cair ke dalam cetakan) akan semakin terganggu sehingga nilai fluiditas paduan Al-7wt%Si akan semakin menurun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Jumlah fraksi intermetalik AlFeSi semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar besi. Pada 700°C, dengan penambahan kadar besi 0,5%, 1,0%, 1,4% dan 1,8%, fraksi intermetalik yang terbentuk adalah 2,94%, 5,56%, 7,5% dan 8,75% secara berturut-turut.
2. Dengan bertambahnya kadar besi ukuran fasa intermetalik yang terbentuk semakin besar dan secara morfologi semakin berbentuk seperti jarum. Pada 700°C, dengan penambahan kadar besi 0,5%, 1,0%, 1,4% dan 1,8%, panjang jarum intermetalik yang terbentuk masing-masing adalah 2,5 – 6 μm , 3 – 12 μm , 5 – 20 μm , dan 6 – 44 μm .
3. Nilai fluiditas paduan Al-7wt%Si akan menurun seiring dengan meningkatnya kadar besi. Pada 700°C, dengan penambahan kadar besi 0,5%, 1,0%, 1,4% dan 1,8%, nilai fluiditas paduan Al-Si hipoeutektik akan menurun masing-masing sebesar 0,25 cm, 1,8 cm, 2,95 cm dan 3,5 cm.

Daftar Acuan

- [1]. Robert I Mackay, *Quantification of Iron in Al-Si Foundry Alloys Via Thermal Analysis*, Montreal: Department of Mining and Metallurgical Engineering McGill University, 1996, pp. 2, 7, 10, 13-15.
- [2]. J Lanker, Non-Equilibrium Solubility of Iron In Aluminum, *Key Engineering Materials*, Vol 44 & 45 (1990), 135-146.

- [3]. John A Taylor, "The Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys". *Cooperative Research Centre for Cast Metals Manufacturing (CAST) University of Brisbane*. (2004) pp. 1016-1021.
- [4]. M. Di Sabatino, L. Arnberg. A Review on The Fluidity of Al Based Alloys". *Teksid Aluminum*, (2004) Vol. 22, No.1, pp. 9 – 15..
- [5]. Campbell J., *Castings*, Oxford: Butterworth-Heimann Ltd., 1991, pp. 6-7.
- [6]. Flemings M.C., *Solidification Processing*, London: McGraw-Hill Inc., 1974
- [7]. Wang L., Makhlof M. and Apelian D., Aluminium Die Casting Alloys: Alloy Composition, Microstructure, and Properties Performance Relationships, *Inter. Mater. Rev.*, vol.40, (1995) 225-252.
- [8]. A. Azizi Ghahrudi, *et al.*, Effect of Chromium, Cobalt, Manganese and Strontium on Fluidity in Fe-Containing A319 Die Casting Alloy. *International Conference on Recent Advances in Mechanical & Materials Engineering*, 2005, pp. 267-272.
- [9]. P.N. Crepeau, Effect of Iron in Al-Si Casting Alloys: A Critical Review, *AFS Trans.*, 103, (1995), pp. 361-366.
- [10]. A. Pennors, A. M. Samuel, F. H. Samuel, H. W. Doty, Precipitation of Beta Iron Intermetallic in Al-6Si-3.5Cu (319) Type Alloys: Role of Sr and P, *AFS Trans.*, 106, (1998), pp. 251-264.
- [11]. G. J. Abbaschian, *et al.*, *ASM Handbook Volume 15 Casting*, Ohio: ASM International, 1998, pp.1690-1691.
- [12]. N. C. W. Kuijpers, *Intermetallic Phase Transformations during Homogenisation of 6XXX Al Alloys*, Delft, Netherlands Institute for Metal Research, 2000, pp. 8-12.
- [13]. Lennart Backerud, Guocai Chai, Jarmo Trnminen, *Solidification Characteristics of Aluminum Alloys volume 2 Foundry Alloy*, Stockholm, Department of Structural Chemistry Arrhenius Laboratory University of Stockholm, 1990, pp. 71.