

Peningkatan Nilai Fluiditas Paduan Aluminium 11.8% Silikon (ADC12) Melalui Penambahan Modifier Strontium (0 – 0.06%)

Bambang Suharno, Is Prima Nanda, Sri Harjanto dan Fadliansyah

Departemen Teknik Metalurgi dan Material

Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424

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

Abstrak

Dalam proses pembuatan komponen otomotif yang menggunakan material Aluminium Cor ADC 12 (Al-11.8%Si-Cu) khususnya untuk ketebalan yang relatif tipis dan bentuk rumit banyak mengalami permasalahan akibat tingkat reject (kegagalan) yang tinggi. Reject yang tinggi tersebut umumnya terjadi karena timbulnya cacat berupa *shrinkage* atau keropos. Fluiditas dari logam cair yang kurang baik merupakan salah satu penyebab utama dari masalah ini. Stronsium merupakan unsur modifier yang umum digunakan untuk mengubah bentuk struktur silikon eutektik dari bentuk jarum ke bentuk relatif bulat (*rounded*). Hal ini dapat meningkatkan sifat mekanis dari produk cor. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan stronsium (0 wt.%, 0.015 wt %, 0.03 wt.%, 0.045 wt % dan 0.06 wt.%) terhadap nilai fluiditas paduan aluminium tuang ADC 12 pada temperatur tuang sebesar 640 °C, 660 °C, 680 °C, dan 700 °C. Nilai fluiditas diukur dengan menggunakan alat uji fluiditas metode *vacuum suction* yang telah dirancang dan dibuat pada Laboratorium Pengecoran Logam Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap kenaikan derajat *superheat* sebesar 20°C pada paduan aluminium tuang ADC 12 dengan penambahan modifier stronsium (0~0.06 wt.%) akan mengalami peningkatan nilai fluiditas sekitar 12 %. Secara umum, pada temperatur tuang 680°C, nilai fluiditas akan meningkat sesuai dengan penambahan modifier stronsium hingga titik optimum (0.03 wt.%) dan kemudian akan turun kembali seiring dengan penambahan Sr. Perubahan temperatur tuang tidak memberikan pengaruh terhadap bentuk struktur maupun distribusi dari fasa eutektik silikon. Sebaliknya, penambahan modifier stronsium memberikan pengaruh terhadap perubahan bentuk struktur maupun distribusi eutektik silikon.

Kata kunci: Modifier Stronsium, Fluiditas, Vacuum Suction Test

Pendahuluan

Laju pertumbuhan industri di bidang otomotif yang semakin pesat mengharuskan setiap perusahaan untuk meningkatkan produktifitas dan kualitas produk yang dihasilkan. Salah satu proses pembuatan dari komponen otomotif yang banyak dikembangkan oleh industri pengecoran (*foundry*), terutama dalam memproduksi komponen-komponen mesin yang relatif tipis dan bentuk yang rumit adalah dengan cara *high pressure die casting*. Material yang umum digunakan pada proses ini adalah paduan aluminium tuang ADC 12.

Sifat mampu cor (*castability*) yang baik merupakan faktor penting dalam menghasilkan produk aluminium yang relatif tipis dan bentuk yang rumit. Fluiditas (mampu alir) merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi *castability* suatu logam dalam proses pengecoran, khususnya untuk menghindari cacat-cacat pada benda cor.^[1] Umumnya jenis cacat pada proses pengecoran adalah keropos (*shrinkage*), porositas gas, dan *hot tears*.

Salah satu cara untuk mendapatkan fluiditas yang baik adalah dengan proses modifikasi.^[2] Modifikasi paduan aluminium silikon ini dilakukan dengan penambahan unsur-unsur *modifier* pada cairan paduan aluminium, seperti stronsium, posfor, dan antimony yang bertujuan untuk menghasilkan partikel silikon yang semula berbentuk lamel-lamel menjadi bentuk granular, dan akhirnya menjadi partikel halus (*modified*) dan terdistribusi merata sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik paduan dan meningkatkan *castability* paduan aluminium silikon.

Penelitian ini diarahkan untuk mempelajari pengaruh penambahan *modifier* stronsium terhadap fluiditas (mampu alir) paduan aluminium tuang ADC 12. Diharapkan, jika sifat mampu cor dapat ditingkatkan, maka dapat menghasilkan produk pengecoran dari paduan aluminium tuang ADC 12 yang memiliki tingkat kegagalan (cacat) yang rendah.

Paduan aluminium jenis ADC 12 adalah paduan aluminium tuang sesuai dengan standar JIS (*Japan International Standard*). Paduan ini berdasarkan Standar JIS H 5302 (1976) tergolong kedalam kelas 12, dengan sistem paduan Al-Si-Cu. Dengan sistem paduan Al-Si-Cu, ADC 12 umumnya diaplikasikan untuk produk yang membutuhkan sifat mekanis antara kekuatan dan ketangguhan yang tinggi.^[3]

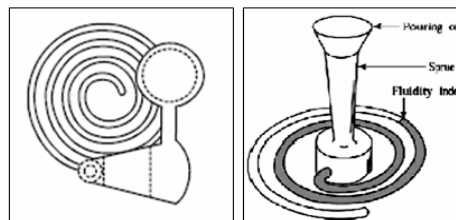
Material jenis ini merupakan material yang umumnya diaplikasikan pada proses *high pressure die casting*.^[5] Material ini umumnya digunakan pada produk berupa *cylinder barrel*, *head cover*, dan sebagainya.

Tabel I. Komposisi kimia berbagai jenis paduan aluminium tuang menurut JIS H 5302^[4]

Kelas	Simbol	Komposisi kimia (%)								
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Al
Kelas 1	ADC 1	1.0 max	11.0-13.0	0.3 max	0.5 max	1.3 max	0.3 max	0.5 max	0.1 max	Sisa
Kelas 3	ADC 3	0.6 max	9.0-10.0	0.4-0.6	0.5 max	1.3 max	0.3 max	0.5 max	0.1 max	Sisa
Kelas 5	ADC 5	0.2 max	0.3 max	4.0-8.5	0.1 max	1.8 max	0.3 max	0.1 max	0.1 max	Sisa
Kelas 6	ADC 6	0.1 max	1.0 max	2.5-4.0	0.4 max	0.8 max	0.4-0.6 max	0.1 max	0.1 max	Sisa
Kelas 10	ADC 10	2.0-4.0	7.5-9.5	0.3 max	1.0 max	1.3 max	0.5 max	0.5 max	0.3 max	Sisa
Kelas 12	ADC 12	1.5-3.5	9.6-12.0	0.3 max	1.0 max	1.3 max	0.5 max	0.5 max	0.3 max	Sisa

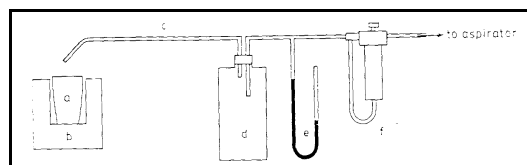
Fluiditas adalah sifat mampu alir yang didefinisikan sebagai kemampuan logam cair untuk mengisi rongga-rongga cetakan pada proses pengecoran. Fluiditas atau sifat mampu alir suatu cairan yang kurang baik dapat mengakibatkan *short run casting*.^[3]

Pengujian fluiditas dengan cetakan spiral (Gambar 1) ini dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke alat uji fluiditas kemudian setelah logam membeku, panjang sampel yang berbentuk spiral diukur dengan menggunakan penggaris.



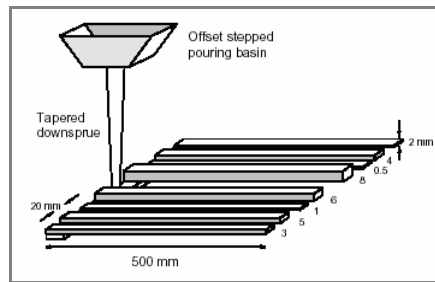
Gambar 1. Metode pengujian fluiditas dengan cetakan spiral.^[7]

Pengujian fluiditas dengan alat uji vakum (Gambar 2) dilakukan dengan menggunakan sebuah saluran yang terbuat dari tembaga, *stainless steel*, atau *pyrex*, dimana logam yang mengalir didorong oleh tekanan vakum dan tekanan yang digunakan diketahui serta faktor manusia dapat dihilangkan. Teknik ini mendekati ideal dalam mengurangi variabel cetakan.^[8]



Gambar 2. Vacuum fluidity test. (a) crucible, (b) electric resistance furnace, (c) fluidity test channel, (d) pressure reservoir, (e) manometer, (f) cartesian manosta

Fluidity test piece (Gambar 3) merupakan pengujian fluiditas yang dikembangkan oleh Universitas Birmingham, UK. Melalui pengujian ini, data yang didapat berupa panjang fluiditas dan ketebalan yang dapat dilalui oleh logam cair.



Gambar 3. Fluidity testpiece, setiap gate memiliki ketebalan yang berbeda-beda.^[6]

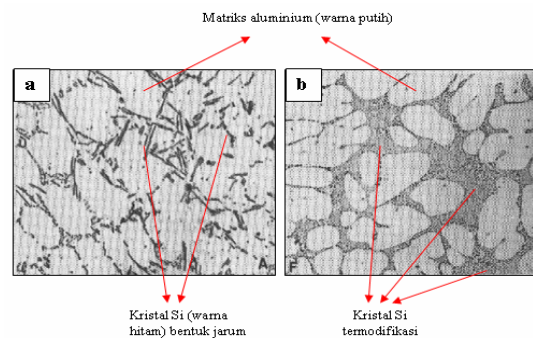
Nilai fluiditas dipengaruhi antara lain oleh temperatur (derajat *superheat*), hal ini diperoleh berdasarkan efek fundamental proses solidifikasi dalam mengendalikan durasi aliran, karena derajat *superheat* menentukan kuantitas panas yang dilepas sebelum proses solidifikasi.

Komposisi kimia, fluiditas tinggi biasanya ditemukan pada logam murni dan paduan di titik eutektik, sedangkan untuk *solid solution* terutama yang memiliki kemampuan membeku terlalu lama (fasa yang ada *liquid*-nya) mempunyai nilai fluiditas rendah.^[8]

Tegangan permukaan logam cair, umumnya akan memberikan efek yang cukup besar pada pengisian rongga cetakan yang relatif tipis. Karena, pada desain rongga cetakan yang tipis, mengakibatkan fluiditas logam cair akan berkurang dengan adanya tegangan permukaan. Tegangan permukaan menjadikan logam cair cenderung akan mempertahankan keadaannya, atau menjadi rigid (kaku).^[1]

Inklusi, pada logam cair yang dapat berbentuk partikel tersuspensi tidak larut (*suspended insoluble nonmetallic particle*), yang mana akan menurunkan fluiditas aluminium cair.

Secara umum, proses modifikasi pada aluminium tuang bertujuan untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon, sehingga akan menghasilkan partikel silikon yang semula dalam bentuk jarum, secara bertahap menjadi berbentuk granular, dan akhirnya menjadi partikel yang lebih halus (*modified*) dan tersebar merata, Gambar 4.



Gambar 4. (a) Kristal silikon tak termodifikasi (b) Kristal silikon termodifikasi.^[1]

Pengaruh modifikasi terhadap fluiditas sampai saat ini belum mencapai kesepakatan yang jelas. Namun terdapat beberapa teori yang dapat dijadikan landasan berpikir dalam menerangkan mekanisme tersebut, yaitu .^[3]

Teori Undercooling^[2]

Pada teori ini, unsur modifikasi berupa atom Sr akan teradsorpsi pada *interface solid-liquid* kristal silikon dan akan mengakibatkan terhambatnya proses nukleasi dan pertumbuhan kristal silikon pada temperatur eutektik normalnya.

Teori Tegangan Permukaan^[9]

Stronsium membentuk lapisan oksida $SrO \cdot Al_2O_3$ pada aluminium cair, dimana lapisan oksida ini tidak bersifat protektif daripada lapisan oksida Al_2O_3 pada aluminium. Dengan keberadaan unsur modifikasi, tegangan permukaan antara silikon dan aluminium cair menjadi turun.

Teori Morfologi Silikon^[9]

Penambahan *modifier* umumnya digunakan pada paduan tuang Al-Si untuk memodifikasi morfologi eutektik silikon dari bentuk serpihan (*flake*) menjadi serat halus (*fine fibrous*). Paduan dengan struktur silikon bulat dan halus umumnya akan mengakibatkan cairan aluminium lebih mudah mengalir dibandingkan cairan aluminium dengan struktur silikon serpihan dan kasar.

Eksperimental

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah *scrap* paduan aluminium tuang ADC 12. *Modifier* stronsium yang digunakan berupa *master alloys* (Al-10%Sr) dengan kadar 0.015 wt.%, 0.03 wt.%, 0.045 wt.%, dan 0.06 wt.%.

Proses peleburan menggunakan bejana (kowi) yang digunakan terbuat dari bahan refraktori dengan kapasitas ± 1400 gram. Pada proses peleburan dilakukan proses *fluxing* dengan *flux coveral* dan proses *degassing* dengan gas argon melalui *lance*. Pengujian fluiditas menggunakan alat uji fluiditas vakum, pipa tembaga berdiameter luar 6.35 mm dan tebal 0.56 mm dengan spesifikasi standar JIS H3300 (tipe C1220), dan alat *thermocouple* (tipe *portable digital*). Proses pengukuran sampel uji fluiditas menggunakan penggaris dan spidol. Proses terakhir, yaitu pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 dan 500 kali.

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi aluminium tuang ADC 12 (100% *scrap*) hasil proses *high pressure die casting*. Pengujian ini dilakukan dengan alat *metal analysis spectrometer*.

Perhitungan *material balance* dilakukan untuk mendapatkan berat dari Sr yang harus ditambahkan dengan berat total dibuat konstan 1400 gram, Tabel II.

Tabel II. Perhitungan stronsium ditambahkan

Sr yang diharapkan	Perhitungan penambahan Sr
0.15 wt.%	$\frac{0.15}{100} (1400 \text{ gr}) = 2.1 \text{ gr}$
0.3 wt.%	$\frac{0.3}{100} (1400 \text{ gr}) = 4.2 \text{ gr}$
0.45 wt.%	$\frac{0.45}{100} (1400 \text{ gr}) = 6.3 \text{ gr}$
0.6 wt.%	$\frac{0.6}{100} (1400 \text{ gr}) = 8.4 \text{ gr}$

Alat pengujian fluiditas vakum pertama-tama harus diatur terlebih dahulu besar dari tekanan yang akan digunakan, yaitu sebesar 8 in Hg. Pipa tembaga merupakan bagian dari alat pengujian fluiditas vakum ini sifatnya *consumable* serta memiliki panjang 80 cm.

Lima komposisi disiapkan melalui proses penimbangan sebelum peleburan dilakukan, yaitu penambahan *modifier* stronsium 0, 0.015, 0.03, 0.045, dan 0.06 wt.%. Tiap komposisi tersebut dipisahkan dan disertakan dengan fluks sebanyak 0.2 wt.%.

Sebelum digunakan untuk melebur aluminium, dapur krusibel dan peralatan yang akan digunakan diberikan *thermal coating* untuk menjaga umur peralatan tersebut. *Furnace* kemudian disiapkan dengan menyusun krusibel diantara briket batubara yang digunakan sebagai media pembakaran dan menggunakan bantuan *blower* untuk mempercepat proses pemanasan. Setelah dapur cukup panas, material ADC 12 sebanyak 1400 gram, dimasukkan dalam bejana hingga mencair.

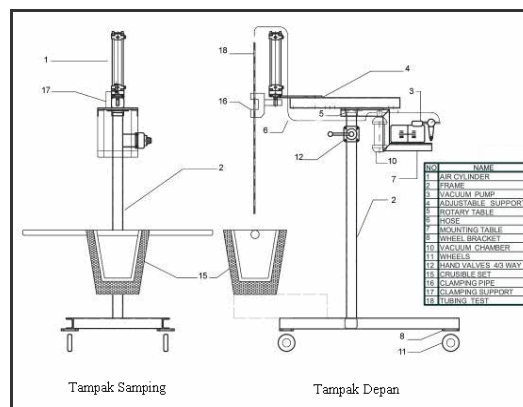
Setelah seluruh material aluminium tuang ADC 12 mencair seluruhnya, kemudian ditaburkan *cover flux* keatas permukaan aluminium cair yang berada di dalam bejana. Tujuannya adalah untuk mengikat kotoran-kotoran berupa oksida-oksida dan *impurities* lainnya yang terdapat di dalam aluminium cair.

Proses *degassing* dilakukan ketika temperatur berkisar ± 720 °C untuk membersihkan gas-gas yang larut akibat temperatur tinggi. *Degassing* dilakukan dengan pemberian gas argon

melalui *lance* selama 1 menit yang akan menghasilkan gelembung inert untuk mengangkat gas-gas asing di dalam aluminium cair.

Temperatur tuang yang diinginkan untuk melakukan pengujian fluiditas adalah pada temperatur 640°C, 660 °C, 680°C, dan 700°C dengan masing-masing berjumlah 2 sampel. Pada masing-masing temperatur, sampel diambil sebanyak 2 kali dan dirata-rata untuk mendapatkan nilai yang representatif.

Pengambilan sampel uji fluiditas menggunakan alat uji fluiditas vakum secara semi otomatis dimana piston akan menurunkan pipa tembaga yang akan bertindak sebagai cetakan aliran logam cair ke kedalaman tertentu dari krusibel, Gambar 5. 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 sebesar 8 in Hg selama 3 detik. Panjang fluiditas dapat terlihat secara visual dengan melihat jejak oksidasi berwarna hitam keabuan di sepanjang pipa tembaga.



Gambar 5. Skema alat uji fluiditas vakum [10, 11,12]

Pengukuran nilai fluiditas dilakukan dengan mengurangi panjang pipa tembaga dengan panjang pipa yang tidak terisi aluminium. Dengan menggunakan penggaris, didapatkan panjang pipa kosong dan panjang total pipa. Kemudian panjang total pipa dikurangi panjang pipa kosong didapatkan panjang pipa yang terisi aluminium. Panjang pipa yang terisi aluminium ini merupakan nilai fluiditas yang dicatat.

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro dan susunan fasa-fasa yang terbentuk pada ujung dari aliran fluiditas menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 100 dan 500 kali. Pengujian ini kemudian dijadikan sebagai pendukung analisa pengaruh penambahan *modifier* stronsium terhadap fluiditas dari paduan aluminium ADC 12.

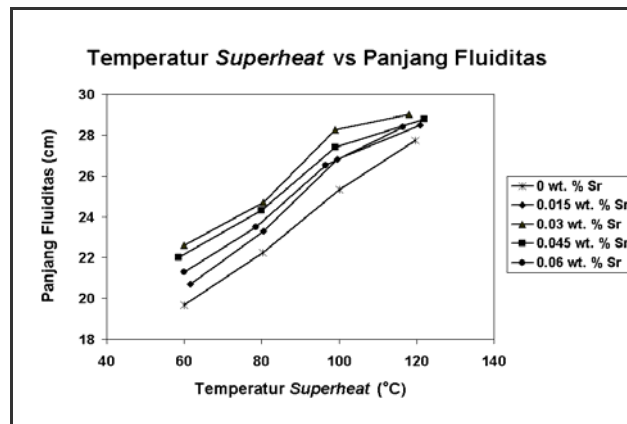
Pengujian ini menitikberatkan pada 8 buah sampel yang meliputi 5 sampel dari 5 komposisi (0.015 wt.%, 0.03wt.%, 0.045 wt.%, dan 0.06 wt.% stronsium) pada temperatur ± 680°C, temperatur tuang aluminium ADC 12 pada umumnya, serta 3 (tiga) buah sampel pada titik maksimum dan minimum dari fluiditas optimal.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Nilai Fluiditas dengan Variasi Temperatur Tuang Aluminium ADC 12

Gambar 6 menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur tuang (*superheat*) aluminium tuang ADC 12, mulai temperatur 640°C hingga 700°C, diperoleh nilai fluiditas (mampu alir) yang semakin meningkat pula. Kecenderungan ini terjadi pada semua variasi penambahan *modifier* stronsium, yaitu 0 wt.%, 0.015 wt.%, 0.03 wt.%, 0.045 wt.%, dan 0.06 wt.%. Hal ini dapat dimengerti karena temperatur penuangan memiliki hubungan yang linear terhadap fluiditas (mampu alir) [4, 6].

Pengaruh temperatur tuang (*superheat*) terhadap nilai fluiditas dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

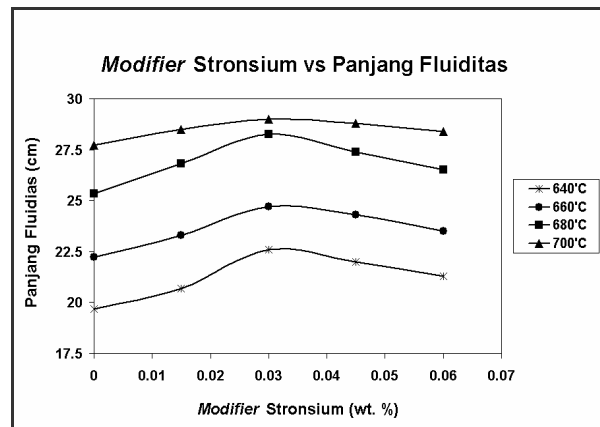


Gambar 6. Hubungan temperatur *superheat* terhadap nilai fluiditas pada tiap variasi penambahan *modifier* stronsium

Dari Gambar 6 tampak bahwa paduan aluminium ADC 12 dengan penambahan *modifier* stronsium (0~0.06wt.%) akan mengalami peningkatan nilai fluiditas sekitar 12 % setiap kenaikan temperatur tuang sebesar 20°C ($\Delta T=20^{\circ}\text{C}$).

Hal ini dikarenakan temperatur (derajat *superheat*) memiliki pengaruh langsung terhadap nilai fluiditas suatu logam maupun paduannya, dimana temperatur (derajat *superheat*) tersebut menentukan efek fundamental proses solidifikasi dalam mengendalikan durasi aliran, yaitu berupa kuantitas panas yang dilepas sebelum proses solidifikasi.

Pengaruh *Modifier* Stronsium Terhadap Nilai Fluiditas Aluminium ADC 12 pada Berbagai Temperatur



Gambar 7. Hubungan penambahan *modifier* stronsium terhadap nilai fluiditas pada tiap variasi temperatur tuang

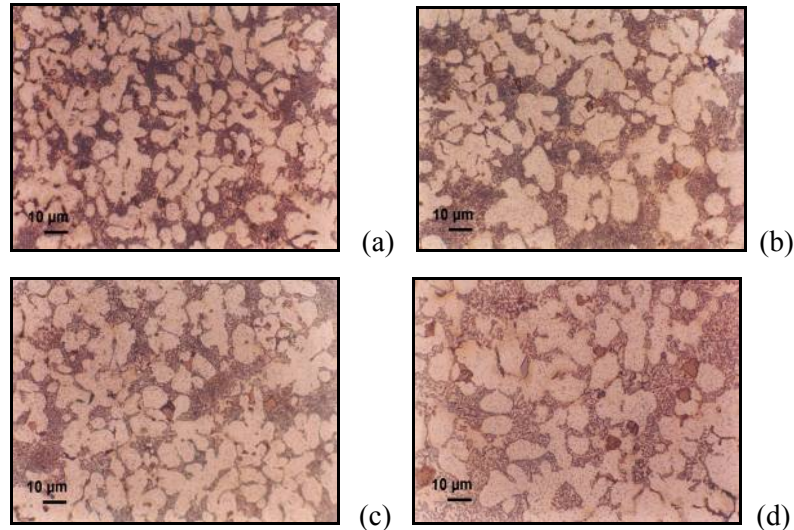
Dari Gambar 7 terlihat bahwa penambahan *modifier* 0.015 wt.%Sr hingga 0.03 wt.%Sr pada temperatur tuang 640°C, 660°C, 680°C, dan 700°C terjadi peningkatan nilai fluiditas dari aluminium ADC 12 dibandingkan tanpa penambahan *modifier*. Sedangkan pada penambahan *modifier* 0.045 wt.%Sr hingga 0.06 wt.%Sr pada temperatur tuang yang sama terjadi penurunan nilai fluiditas setelah mencapai titik optimum pada 0.03 wt.% Sr.

Pada penambahan *modifier* 0.015 wt.%Sr terjadi sedikit peningkatan nilai fluiditas. Pada kondisi ini, struktur mengalami *partially modification* atau modifikasi belum sempurna. Berdasarkan teori *undercooling*, nilai ΔT_n dan ΔT_g , mengalami sedikit peningkatan, dimana rentang pembekuan akan menjadi lebih pendek dan diperoleh peningkatan fluiditas.

Nilai fluiditas optimum terjadi pada penambahan *modifier* 0.03 wt.%Sr. Hal ini dapat terlihat pada temperatur tuang 680°C, panjang fluiditas meningkat dari 25.33 cm (0 wt.%Sr) menjadi 28.3 cm (0.03 wt.%Sr) atau meningkat 11.7%. Hal ini terjadi karena Si berbentuk lebih bulat (*fully modified*) dan tersebar merata pada matriks aluminium. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai fluiditas.

Nilai fluiditas pada penambahan *modifier* 0.045 wt.%Sr dan 0.06 wt.%Sr, mengalami penurunan. Permasalahan ini disebabkan terbentuknya koloni dari struktur eutektik silikon dan distribusi struktur eutektik silikon kurang merata dalam matriks eutektik aluminium sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan nilai fluiditas.

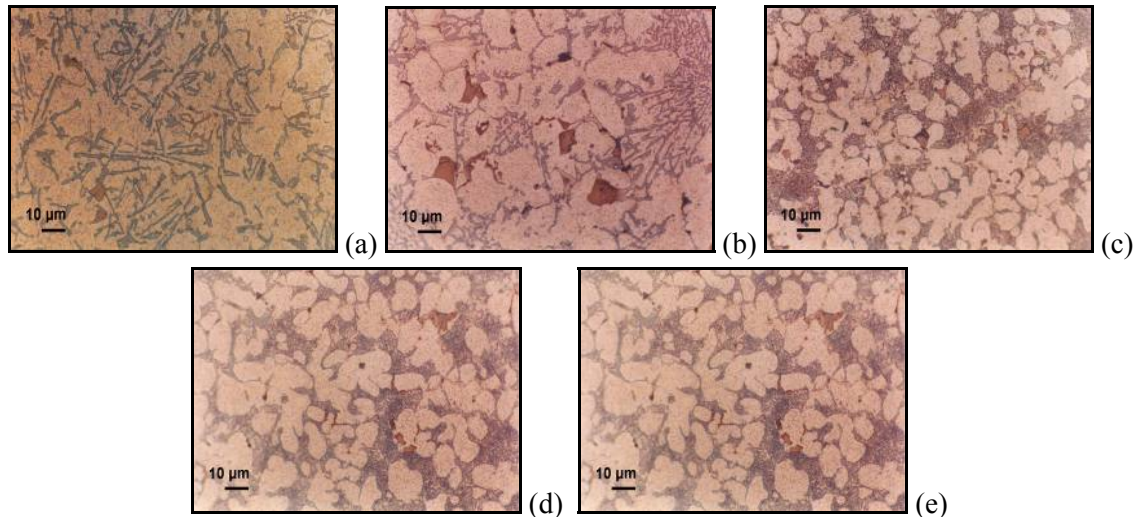
Pengaruh Temperatur Tuang Pada Penambahan Sr 0.03 wt.% Terhadap Struktur Mikro



Gambar 8. Struktur mikro sampel uji fluiditas dengan penambahan *modifier* stronsium 0.03 wt% pada temperatur (a) 640°C; (b) 660°C; (c) 680°C; dan (d) 700°C, perbesaran 500x, etsa 0.5% HF

Pengamatan struktur mikro pada penambahan *modifier* stronsium optimum 0.03 wt.% dengan variasi temperatur tuang 640 °C, 660°C, 680°C, dan 700 °C, seperti diperlihatkan Gambar 8.(a) - (d), tidak terlihat perubahan bentuk struktur maupun distribusi dari fasa eutektik silikon.

Pengaruh Penambahan Stronsium Terhadap Struktur Mikro



Gambar 9. Struktur mikro sampel uji fluiditas (a) tanpa penambahan *modifier* stronsium; (b) Sr 0.015 %; (c) Sr 0.03 %; (d) Sr 0.045 %; (e) Sr 0.06 wt.%; Temp. 680°C, etsa 0.5% HF

Pada kondisi tanpa penggunaan *modifier* stronsium (Gambar 9.a), terlihat struktur fasa eutektik silikonnya berbentuk jarum dan tingkat pendistribusiannya di dalam matriks aluminium kurang merata. Struktur eutektik silikon berbentuk jarum ini menandakan bahwa logam cair yang digunakan pada proses pengecoran belum dilakukan *treatment* atau modifikasi.

Pada penggunaan *modifier* stronsium sebesar 0.015 wt.% (Gambar 9.b), terlihat struktur fasa eutektik silikon mulai tampak bulat walaupun pada beberapa bagian struktur silikon masih berbentuk jarum. Pada kondisi ini struktur mengalami *partially modification* atau modifikasi

yang belum sempurna. Hal ini dikarenakan penggunaan stronsium yang kadarnya masih terlalu rendah.

Pada penggunaan *modifier* stronsium sebesar 0.03 wt.% (Gambar 9.c), terlihat struktur fasa eutektik silikon yang ideal (bulat dan terdistribusi) atau *fully modified*. Kondisi ini membuktikan bahwa nilai fluiditas optimum diperoleh dengan penambahan *modifier* 0.03 wt.%Sr. Hal ini sesuai literatur^[3], dimana penambahan *modifier* stronsium 0.02 wt.%-0.03 wt.% pada paduan 380.0 dapat menghasilkan mikrostruktur yang halus sehingga dihasilkan nilai fluiditas yang baik.

Sementara pada penambahan *modifier* 0.045 wt.%Sr (Gambar 9.d) dan 0.06 wt.%Sr (Gambar 9.e), terlihat koloni-koloni dari struktur eutektik silikon dan tingkat pendistribusian struktur eutektik silikon kurang merata dalam matriks eutektik aluminium, akibatnya fluiditas aluminium ADC 12 menjadi rendah.

Kesimpulan

1. Setiap kenaikan temperatur tuang (derajat *superheat*) sebesar 20°C akan meningkatkan nilai fluiditas sekitar 12 %.
2. Peningkatan nilai fluiditas pada berbagai temperatur akan dicapai optimumnya dengan penambahan *modifier* stronsium pada 0.03 wt.%
3. Perubahan temperatur tuang atau derajat *superheat* tidak memberikan pengaruh terhadap mikro struktur maupun distribusi dari fasa eutektik silikon.
4. Penambahan *modifier* stronsium (Sr) memberikan pengaruh terhadap perubahan bentuk maupun distribusi dari fasa eutektik silikon, dimana penambahan *modifier* 0.015 wt.%Sr menghasilkan struktur eutektik silikon jarum dan bulat (*partially modified*), penambahan *modifier* 0.03 wt.%Sr menghasilkan struktur eutektik silikon bulat (*fully modified*) serta tersebar merata pada matriks aluminium sedangkan penambahan *modifier* 0.045 wt.%S dan 0.06 wt.%Sr, terbentuk koloni-koloni dari struktur eutektik silikon dan tingkat pendistribusiannya kurang merata dalam matriks eutektik aluminium.

Daftar Pustaka

1. Metals Handbook Ninth Edition. Volume 15. *Casting*, ASM International: Metal Park, Ohio. 1978.
2. Kaufman, J Gilbert dan Rooy, Elwin L. *Aluminum Alloy Casting Properties, Processes, and Application*. ASM International, 2004.
3. Gruzleski, John E., Bernard M. Closset, *The Treatment of Aluminum-Silicon Alloys*, Americans Foundrymans Society, Inc, USA, 1990.
4. JIS Handbook. *Non-Ferrous Metals and Metallurgy*. Japanese Standards Association. 1977.
5. <http://www.tech.plym.ac.uk/sme/mech33/alcast1.htm>
6. <http://www.eaa.net/education/TALAT/lectures/3205.pdf>
7. <http://www.ucs.louisiana.edu/html>
8. P.R. Beeley, B.Met, Ph.D, FIM, *Foundry Technology*, Butter Worth, London, 1972.
9. American Foundrymen's Society Inc. *Alumunium Casting Technology*. Illinois, 1986.
10. Is Prima Nanda, Bambang Suharno dan Adek Tasri, Perancangan dan Pembuatan Alat Uji Fluiditas Dengan Metode Vacuum Section, Prosiding Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material, ITS, Surabaya 19 September 2006
11. Bambang Suharno, Is Prima Nanda dan Reza Mawasthama, Pengaruh Penambahan Seng terhadap Fluiditas ADC 12 dengan Metode Vacuum Suction Test, Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Dosen Teknik 2006, Univ. Tarumanagara, Jakarta 5-6 September 2006
12. Bambang Suharno, Is Prima Nanda, Bustanul Arifin dan Kresna D.N, Pengaruh Proses Degassing terhadap Fluiditas ADC 12 dengan Metode Vacuum Suction Test, Prosiding Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Material, ITS, Surabaya 19 September 2006