

Pengaruh Penambahan Fe terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Paduan Aluminium 7% Silikon (Al-7%Si)

Is Prima Nanda^{1,a}

¹Teknik Mesin Universitas Andalas Padang

^aEmail: isprimananda@yahoo.com

Abstrak

Industri pengecoran aluminium di Indonesia umumnya menggunakan scrap aluminium sebagai bahan baku. Penggunaan scrap aluminium ini telah diketahui dapat mengurangi biaya produksi. Akan tetapi penggunaan scrap ini mempunyai dampak negatif yaitu terdapatnya banyak unsur pengotor yang tidak diinginkan, seperti unsur besi (Fe). Namun dalam persentase tertentu, Fe sebagai paduan dapat meningkatkan kekerasan, sebaliknya juga mempunyai efek samping seperti meningkatkan kegetasan. Berapa jumlah Fe yang boleh ada dalam aluminium belum diteliti secara detil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Fe terhadap struktur mikro dan kekerasan pada paduan Al-Si hipoeutektik (Si 7%).

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah Al-7%Si (% berat). Adapun variabel dalam penelitian ini adalah perbedaan jumlah Fe yang ditambahkan ke dalam paduan Al-7%Si. Variabel penambahan Fe yang digunakan adalah sebesar 0%, 1,2%, 1,4%, dan 1,6% (% berat). Fe ditambahkan ke dalam paduan saat peleburan, ketika temperatur aluminium cair tersebut sudah mencapai 720 °C. Untuk masing-masing variabel penambahan Fe dicetak 3 (tiga) sampel melalui 1 (satu) kali proses peleburan.

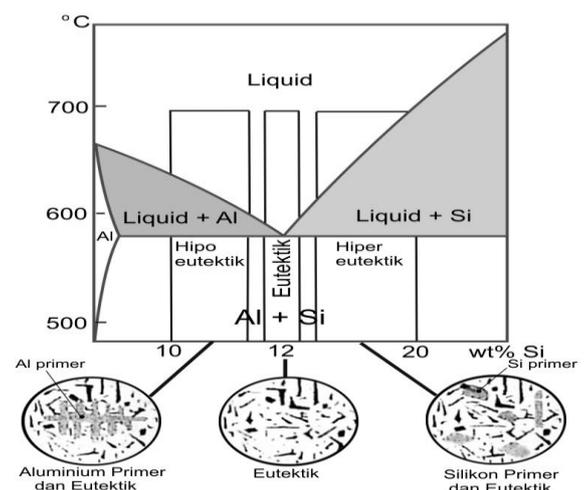
Pengujian kekerasan menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan 1,4% Fe menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan sampel dengan penambahan 0%, 1,2%, dan 1,6% Fe. Hal ini dibuktikan juga dengan hasil SEM yang menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan 1,4% Fe mempunyai bentuk fasa intermetalik β yang lebih panjang dan tebal serta tersebar lebih merata dibandingkan pada sampel dengan 3 (tiga) variabel penambahan Fe lainnya.

Kata kunci : Fe, Hipoeutektik, Al-7%Si, Fasa Intermetalik β

Pendahuluan

Logam aluminium merupakan logam kedua setelah besi (Fe) yang paling banyak digunakan, saat ini logam aluminium sangat berperan penting dalam berbagai aplikasi karena memiliki sifat-sifat unggul. Aluminium dapat dengan mudah dikombinasikan dengan unsur lain (*alloying*) untuk mengatur karakteristiknya seperti sifat mekanis, sifat mampu cor (*castability*), sifat mampu mesin (*machinability*), ketahanan korosi (*corrosion resistance*), sifat mampu las (*weldability*), dan ketahanan terhadap retak (*hot tear resistance*).

Paduan aluminium silikon Al-7%Si, misal A356 banyak digunakan dalam industri otomotif dan pesawat terbang. Paduan aluminium silikon Al-11%Si, misal A413 banyak digunakan untuk aplikasi produk yang membutuhkan sifat mekanis antara kekuatan dan ketangguhan yang tinggi, seperti untuk produk *crank case* dan *cylinder comp*. Berikut adalah gambar diagram fasa paduan Aluminium Silikon



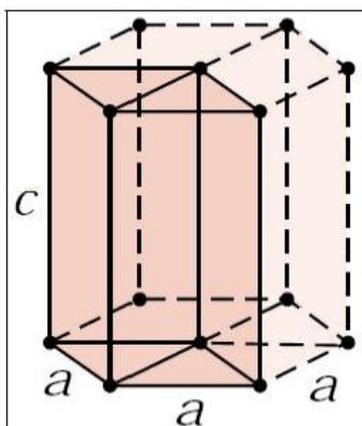
Gambar 1. Diagram fasa Al-Si dan mikrostruktur paduan pada komposisi hipoeutektik, eutektik, dan hipereutektik

Unsur besi (Fe) merupakan pengotor yang sering ditemukan pada aluminium. Fe berpengaruh positif dalam meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap retak panas. Akan tetapi Fe memiliki pengaruh negatif menurunkan keuletan dan mengurangi sifat mampu alir

(*flowability*) serta memberikan kecenderungan penempelan dengan cetakan pada proses *die casting*. Jika kadar Fe >0,05% maka akan terbentuk fasa-fasa yang tidak terlarut (*insoluble*) $FeAl_3$, $FeMnAl_6$, dan $\alpha-AlFeSi$. Fasa ini akan meningkatkan kekuatan dan mengurangi sifat mampu alir

Fasa *iron intermetallic* yang biasa terbentuk di dalam paduan aluminium silikon adalah fasa $\alpha-AlFeSi$ dan fasa $\beta-AlFeSi$. Fasa $\beta-AlFeSi$ yang berbentuk jarum, cenderung memberikan efek yang lebih buruk dibandingkan dengan fasa *chinese script* atau fasa $\alpha-AlFeSi$.

Fasa α mempunyai struktur kristal yang berbentuk *hexagonal*. Fasa ini membentuk morfologi seperti tulisan Cina dan biasa disebut *chinese script*. Partikel ini biasanya terbentuk pada kecepatan pendinginan yang tinggi dengan kandungan Fe yang relatif tinggi.



Gambar 2. Struktur *hexagonal*

Fasa β mempunyai struktur kristal *monoclinic*, dan membentuk sebuah bidang berbentuk jarum yang rapuh. Partikel ini sangat dihindari karena dapat merusak sifat mekanis dari paduan. Hal ini disebabkan oleh bentuk jarum dari fasa tersebut, bentuk yang bersegi, dan juga ikatannya yang lemah dengan matrik aluminium. Fasa ini dihindari pada paduan aluminium silikon karena memberikan efek tidak baik terhadap paduan aluminium silikon

Sifat fasa paduan aluminium silikon yang tidak sempurna dapat diperbaiki melalui proses yang dinamakan modifikasi. *Strontium* digunakan sebagai *modifier* pada proses pengecoran aluminium dengan paduan silikon. Penambahan Sr akan memperbaiki struktur paduan aluminium silikon, yaitu dengan merubah struktur Si primer yang semula berbentuk jarum-jarum yang kasar atau balok menjadi lebih bulat dan halus. Perubahan morfologi silikon ini akan meningkatkan sifat mekanis paduan, mempermudah proses pemesinan (*machinability*),

dan meningkatkan mampu cor (*castability*) paduan aluminium silikon, karena semakin bulat dan halus struktur mikro maka sifat mampu alir juga akan meningkat.

Secara umum pengaruh Sr terdapat pada perubahan fasa, dimana terjadi mendorong pemutusan bentuk fasa berjarum panjang menjadi lebih pendek pada paduan yang kaya akan intermetalik fasa β . Dengan terjadinya pemutusan dan memecah jarum-jarum β menjadi lebih pendek sehingga dapat mengurangi efek negatif dari fasa ini serta meningkatkan sifat mekanis dari paduan Al-Si.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur. Selanjutnya dilakukan proses persiapan alat dan bahan, paduan yang digunakan adalah *master alloy* aluminium-silikon hipoeutektik (Al-7%Si). Kemudian dilakukan proses peleburan paduan yang meliputi proses *charging material* dan proses *fluxing*.

Rekayasa penambahan unsur Fe pada *master alloy* dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan Fe terhadap struktur mikro *master alloy* hipoeutektik (Al-7%Si). Variasi persentase Fe yang ditambahkan pada penelitian ini adalah 1,2% ; 1,4% ; dan 1,6%. Fe ditambahkan ke dalam paduan ketika temperatur aluminium cair tersebut sudah mencapai 720°C dalam bentuk serbuk (*powder*) yang dibungkus dengan *aluminium foil*. Setelah Fe terlarut sempurna dalam *master alloy*, paduan aluminium cair tersebut diambil dengan menggunakan *ladle* dan dituangkan ke dalam cetakan, dan selanjutnya dicetak sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Hal ini dilakukan untuk pembuatan 3 (tiga) buah sampel yang nantinya akan digunakan untuk pengujian sifat mekanik dan pengamatan struktur mikro paduan tersebut.

Pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah pengujian kekerasan (uji keras) dengan menggunakan alat uji keras HRC (*Mobile Hardness Tester*).



Gambar 3. Spesimen uji keras dan *mobile hardness tester*

Selanjutnya dilakukan pengamatan struktur mikro dan morfologi yang terbentuk pada paduan aluminium dengan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM).



Gambar 4. Alat SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Kapasitas kowi yang digunakan adalah 1400 gram, untuk perhitungan yang dilakukan menggunakan ingot murni paduan aluminium silikon Al-7%Si disesuaikan dengan kapasitas kowi tersebut. Perhitungan *material balance* untuk menentukan berat Fe yang akan dimasukkan ke dalam paduan aluminium silikon tergantung kepada berat paduan Al-Si yang dimasukkan ke dalam kowi peleburan dan juga tergantung kepada variasi *persentase* berat Fe yang akan ditambahkan.

Elemen Fe yang ditambahkan berupa serbuk Fe yaitu paduan Al-80%Fe dengan efektifitas 95% Fe, sehingga berat paduan Al-80%Fe perlu penambahan lagi sebesar 5% untuk setiap variabel komposisi.

Perhitungan *material balance* penambahan Fe yang ditambahkan ke dalam paduan aluminium silikon dapat ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

- Berat Fe yang ditambahkan ;

$$\frac{\text{Persentase Fe yang ditambahkan}}{100} \times \text{Berat Al-Si} = \dots (\text{gr})$$

- Penambahan 5% dari berat Fe yang ditambahkan ;

$$\frac{5}{100} \times \text{Berat Fe yang ditambahkan}(\text{gr}) = \dots (\text{gr})$$

- Total berat Fe yang ditambahkan ;

$$\text{Berat Fe yang ditambahkan}(\text{gr}) + \text{Penambahan 5\%} = \dots (\text{gr})$$

Hasil perhitungan *material balance* dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Perhitungan *material balance*

Kadar Fe (%)	Berat Al-7%Si (gr)	Berat Fe yang Ditambahkan (gr)	Total Berat Fe (+5%)
1,2	603	$= \frac{1,2}{100} \times 603 = 7,236$	7,5978 gr
1,4	603	$= \frac{1,4}{100} \times 603 = 8,4429$	8,8841 gr
1,6	618	$= \frac{1,6}{100} \times 618 = 9,888$	10,3824 gr

Proses peleburan dilakukan dengan menggunakan tungku krusibel dengan bahan bakar briket batubara. Untuk meningkatkan intensitas pembakaran maka dilakukan penghembusan udara dengan menggunakan *blower* melalui celah pada bagian bawah krusibel

Setelah seluruh material paduan aluminium mencair seluruhnya, kemudian dilakukan proses *fluxing* pada paduan aluminium cair dengan tujuan untuk mengikat kotoran-kotoran berupa gas oksida dan zat pengotor (*impurity*) lainnya yang terdapat di dalam paduan aluminium cair. Kotoran yang telah berikatan dengan *fluxing agent* dibuang dengan cara *drossing* di permukaan aluminium dengan menggunakan sendok plat baja yang telah *coating* dan selanjutnya dibuang.

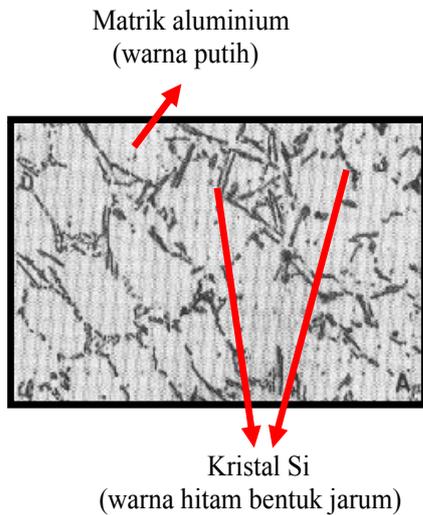
Cetakan ini dirancang untuk pengujian kekerasan dan uji optik, proses penuangan ini dilakukan untuk 3 buah sampel untuk masing-masing variasi penambahan Fe, seperti terlihat pada Gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5. Penuangan aluminium cair ke dalam cetakan

Hasil dan Pembahasan

Paduan aluminium silikon (Al-Si) terdiri dari dua unsur utama, yaitu matriks aluminium dan kristal silikon. Sifat mekanis dari paduan aluminium silikon sangat ditentukan oleh bentuk dan struktur dari kedua unsur utama tersebut. Morfologi dari matriks aluminium dan kristal silikon tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini :



Gambar 6. Aluminium Silikon

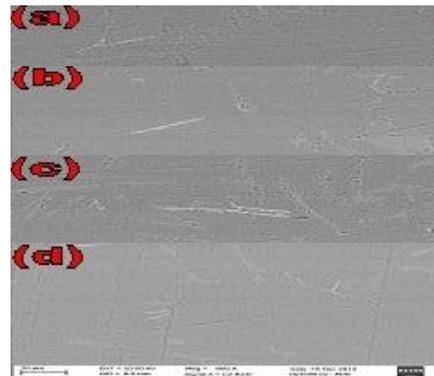
Unsur besi (Fe) berada di dalam paduan aluminium sebagai pengotor utama, namun dalam beberapa paduan besi hadir sebagai elemen paduan yang menyebabkan meningkatnya kekerasan (*hardness*) akan tetapi efek sampingnya juga akan meningkatkan kegetasan (*brittleness*) paduan tersebut.

Pengujian kekerasan dilakukan pada sampel tanpa penambahan Fe dan tiga sampel lainnya untuk setiap variabel penambahan Fe (1,2%, 1,4%, dan 1,6%). Kekerasan ke-empat variabel

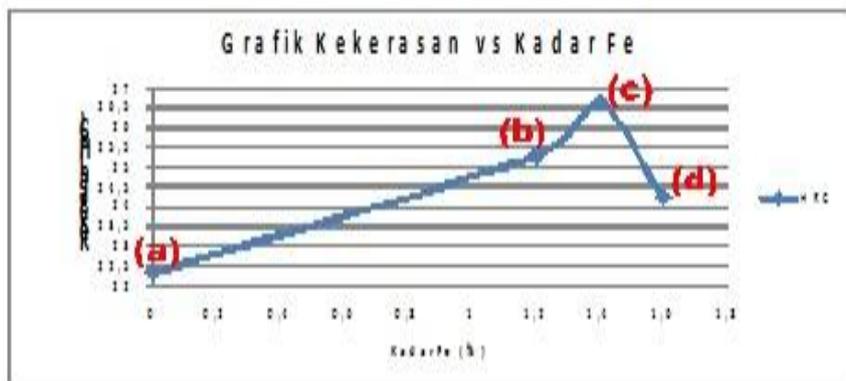
tersebut diuji dengan menggunakan *hardness mobile tester*.

Dari data pengujian kekerasan terlihat bahwa nilai kekerasan akan cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar Fe di dalam paduan. Fasa *iron intermetallic* yang umum terbentuk di dalam paduan aluminium silikon adalah fasa α -AlFeSi dan fasa β -AlFeSi. Fasa β -AlFeSi dianggap sebagai penyebab utama menurunnya keuletan paduan, dan proses pemesinan (*machining*) menjadi sulit dan memerlukan biaya yang lebih karena dibutuhkannya waktu pemesinan yang lebih lama.

Semakin tingginya kadar Fe yang ditambahkan pada paduan Al-7%Si maka tebal dan panjang intermetalik yang terbentuk akan semakin bertambah. Ini memperlihatkan bahwa dengan semakin berkembangnya intermetalik pada struktur mikro maka nilai kekerasannya juga meningkat. Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro terlihat pada Gambar 7 dan 8 di bawah ini.



Gambar 7. Foto Struktur Mikro Paduan Al-Si yang ditambah Fe



Gambar 8. Grafik kekerasan vs kadar Fe

Nilai kekerasan sebelum ditambah Fe adalah senilai 22,3 HRC, jika dibandingkan dengan setelah ditambah 1,2% Fe, didapatkan peningkatan nilai kekerasan sebesar 13,45%. Meningkatnya nilai kekerasan ini disebabkan oleh

adanya reaksi yang terjadi pada silikon saat terjadinya penambahan unsur Fe.

Ketika dilakukan peningkatan penambahan kadar Fe menjadi 1,4%, terjadi perubahan nilai kekerasan yang besar dan pada struktur mikro

paduan. Nilai kekerasan yang didapat peningkatannya adalah sebesar 19,28% dimana sebelumnya hanya meningkat 13,45%. Di sini fasa intermetalik yang terbentuk lebih tebal dan tersebar secara merata. Kristal silikon yang termodifikasi lebih banyak dan lebih tersebar secara merata. Fasa intermetalik pada penambahan 1,4% Fe menjadi lebih panjang dan tebal apabila dibandingkan pada penambahan 1,2% Fe. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai kekerasan dibandingkan paduan sebelumnya.

Ketika kadar penambahan Fe ditingkatkan menjadi 1,6%, maka nilai kekerasan yang didapatkan cenderung turun dari nilai 1,4% Fe yaitu sebesar 8,5%. Namun nilai kekerasan tetap mengalami peningkatan dari nilai tanpa penambahan Fe sebelumnya (0%Fe). Nilai kekerasan ini merupakan nilai kekerasan terendah di antara semua variabel penambahan Fe yang dilakukan. Fasa intermetalik yang terbentuk juga lebih merata dan tersebar dari sebelumnya

Sebagaimana diketahui bahwa fasa intermetalik β yang berbentuk jarum/pelat ini dapat menurunkan sifat mekanik material. Seiring dengan meningkatnya kadar Fe maka porositas juga akan meningkat, dan hal ini akan mengurangi nilai keuletan dari paduan

Referensi

- [1] John, R. Brown. *Foseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook* (Oxford : Butterworth, 1994), hal. 23
- [2] Kaufman, J Gilbert dan Rooy, Elwin L. *Aluminum Alloy Casting Properties, Processes, and Application*. ASM International, 2004. hal 1-3
- [3] Lasa, L., Rodriguez-Ibabe, J. M. Evolution of the main intermetallic phases in Al-Si-Cu-Mg casting alloys during solution treatment. *Journal of Materials Science* 39, 2004
- [4] Stanislav Kores, Maja Vončina, Primož Mrvar, Jožef Medved. Dissolution of Iron in Aluminium Alloys. *RMZ – Materials and Geoenvironment*, Vol. 54, No.4, pp. 439-456, 2007
- [5] Jozef Petrik, Matus Horvath. The Iron Correctors in Al-Si Alloys. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. Tome IX. 2011