

PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR PADUAN MAGNESIUM PADA Al-Si MENGGUNAKAN DAPUR KRUSIBEL TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO

Sony Alviandra¹, Jumiadi², Mardjuki³

Abstraksi

Dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar gas ditambah oksigen dikarenakan temperatur yang dihasilkan mampu mencairkan aluminium dan produk yang dihasilkan lebih baik dan penggunaan aluminium dikarenakan temperatur cairnya relatif rendah dan mempunyai sifat mampu cor baik. Menganalisa dan membandingkan sifat kekerasan, struktur mikro pada Al-Si sebelum serta sesudah penambahan variasi unsur paduan 1% Mg, 1,5% Mg, dan 2,5% Mg. Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yaitu semakin banyak penambahan prosentase unsur Mg pada Paduan Al-Si, maka nilai kekerasan semakin tinggi begitu pula semakin banyak penambahan prosentase unsur Mg pada Paduan Al-Si, maka bentuk fasanya cenderung membentuk serpih dan ukuran butirnya menjadi lebih rapat dan homogen.

Kata Kunci : Pengecoran, Pemaduan Al-Mg-Si, Uji Keras, Struktur Mikro

Abstract

In this study using gas fuel plus oxygen due to the resulting temperature is able to liquefy aluminum and the resulting product is better and the use of aluminum due to relatively low liquid temperatures and has good casting properties. Analyze and compare hardness properties, microstructure on Al-Si before and after addition of 1% Mg, 1.5% Mg, and 2.5% Mg alloy element variations. Based on the results of the research can be concluded that the more the percentage of Mg element added in Al-Si Alloys, the higher the hardness value as well as the more percentage of Mg element in Al-Si Alloys, the phenotype tends to form the shale and the grain size becomes more tightly and homogeneous

Keywords : Casting, Alloy Al-Mg-Si, Hard Test, Microstructure

PENDAHULUAN

Industri manufaktur khususnya dibidang proses pengecoran umumnya membutuhkan dapur peleburan, cetakan, dan jenis logam yang dilebur. Pada industri manufaktur terdapat adanya industri kecil, menengah dan industri berat, dimana masing-masing industri mempunyai kapasitas produksi yang sesuai dengan produk yang sesuai dengan produk yang ingin di hasilkan. Untuk melakukan proses pengecoran perlu mempertimbangkan jenis dapur peleburan yang akan dipakai terhadap jenis logam yang dilebur dan sifat

mampu bentuk logam yang dikehendaki. Menggunakan dapur krusibel pada proses pengecoran ini dipilih dengan pertimbangan karena lebih sederhana, lebih praktis dan ekonomis. Dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar gas dikarenakan temperatur yang dihasilkan mampu mencairkan aluminium dan produk yang dihasilkan lebih baik. Penggunaan aluminium dikarenakan temperatur cairnya relatif rendah dan mempunyai sifat mampu cor baik

Untuk menguji karakteristik dan kemampuan dapur krusibel yang

¹ Mahasiswa Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

² Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

³ Dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang

dirancang, penulis melakukan penelitian dengan melebur Al-Si dengan penambahan unsur paduan 1% Mg, 1,5% Mg, dan 2,5% Mg. Adapun tujuan paduan tersebut untuk menganalisa perubahan sifat kekerasan dan struktur mikro Al-Si.

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi penambahan unsur paduan magnesium pada Al-Si menggunakan dapur krusibel terhadap sifat kekerasan dan struktur mikro. Beberapa batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah:

- a. Cetakan yang dipakai jenis cetakan logam
- b. Logam cor yang dilebur jenis Al-Si
- c. Persentase variasi paduan Magnesium : 1% Mg, 1,5% Mg
- d. dan 2,5% Mg Pengujian yang dilakukan pada Al-Si sesudah dipadu, meliputi:
 - Uji komposisi kimia
 - Uji pengamatan struktur mikro
 - Uji kekerasan
- e. Pendinginan hasil pengecoran menggunakan media udara
- f. Tidak membahas perpindahan panas cetakan logam.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan membandingkan sifat kekerasan, struktur mikro pada Al-Si sebelum serta sesudah penambahan variasi

unsur paduan 1% Mg, 1,5% Mg, dan 2,5% Mg.

Diharapkan hasil penelitian yang dilakukan dapat memberikan informasi kepada para pengusaha di bidang industri manufaktur, khususnya kepada industri pengecoran yang memakai penambahan unsur paduan Magnesium (Mg) pada Al-Si.

KAJIAN PUSTAKA

Dapur Krusibel

Dapur krusibel merupakan dapur yang diperuntukan mencairkan logam-logam yang ringan seperti : alumunium, magnesium, timah dan seng, dimana logam-logam tersebut tidak memerlukan temperatur yang tinggi untuk dapat mencair dan dituang. Oleh karena itu dapur krusibel ini banyak digunakan oleh industry-industri kecil dan menengah yang kebanyakan berkapasitas produksi yang rendah dan dengan bentuk produk yang sederhana, seperti : alat-alat rumah tangga dan variasi kendaraan bermotor.

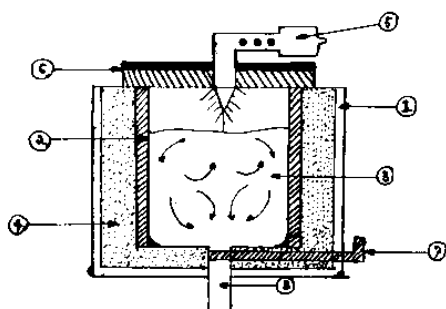
Dapur krusibel ini merupakan pengembangan dari desain dapur peleburan tradisional yang terbuat dari kowi tanah, dengan menggunakan sistem semburan api terpusat berkapasitas 5 kg/peleburan menjadi dapur kowi (krusibel) baja dengan sistem semburan api yang sama tetapi memiliki kapasitas peleburan yang lebih

besar, sehingga dapat meningkatkan jumlah produksi.

Cara Kerja Dapur Krusibel

Cara kerja dapur krusibel sangatlah sederhana yaitu dengan cara memasukkan bahan baku kedalam kowi yang terletak di dalam dapur krusibel, kemudian bahan baku dipanaskan dan menggunakan sistem semburan api terpusat sampai mencapai temperatur cair. Setelah logam mencair, dilanjutkan dengan proses penuangan yang terletak di bagian bawah dapur krusibel dan didinginkan secara perlahan-lahan.

Bagian-Bagian Utama dan Fungsi Dapur Krusibel



Gambar 1. Gambar Dapur Krusibel

1. Plat besi, berfungsi sebagai dinding luar dan juga sebagai kerangka utama dari dapur krusibel.
2. Kowi, berfungsi sebagai tempat penampung logam ringan yang akan dilebur.
3. Logam ringan yang sudah mencair.
4. Batu tahan api, berfungsi sebagai penahan panas yang terjadi di dalam dapur krusibel agar tidak sampai merambat ke dinding luar.

5. Blander las, berfungsi sebagai alat untuk melelehkan logam ringan dengan cara sistem penyemburan api terpusat.
6. Penutup, berfungsi sebagai pengaman.
7. Tuas katup, berfungsi sebagai pembuka dan penutup aliran logam cair yang akan di tuang atau cetak.
8. Pipa saluran, berfungsi sebagai tempat saluran logam cair yang akan di tuang atau dicetak.

Keuntungan dan Kerugian Dapur Krusibel

1. Keuntungannya yaitu konstruksi dapur krusibel sederhana dan dalam proses pembuatannya memerlukan biaya yang relatif murah dan dipakai untuk proses paduan khususnya untuk logam-logam ringan
2. Kerugiannya yaitu energi panas yang dihasilkan hanya terbatas untuk melebur logam-logam yang ringan dengan jumlah produksi terbatas.

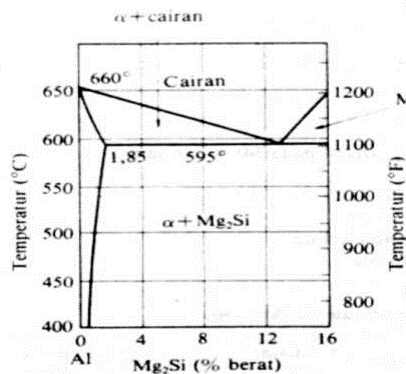
Bahan Baku untuk Proses pengecoran

Bahan baku untuk proses pengecoran berkaitan erat dengan kegunaan benda cor, karena masing-masing bahan baku memiliki sifat yang berbeda-beda sehingga ada beberapa syarat tertentu yang harus dimiliki bahan baku tersebut sebelum dilebur. Dalam hal ini peneliti menggunakan bahan baku dari logam-logam bekas yang digunakan pada

komponen torak (piston) kendaraan bermotor.

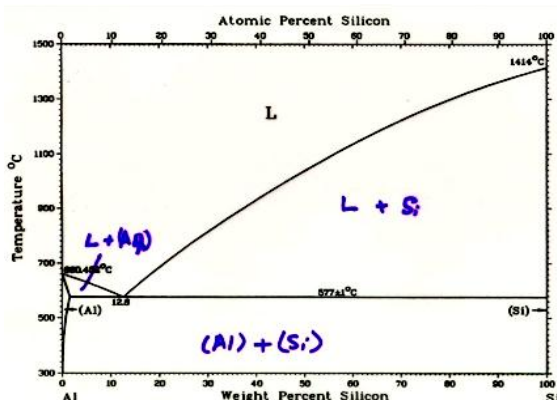
Unsur paduan Al-Si-Mg

Dalam paduan biner Al-Mg suatu fasa yang ada di dalam keseimbangan larutan Al adalah larutan padat yang merupakan senyawa antar logam yaitu Al-Mg₂Si. Paduan Al-Mg-Si mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Paduan dengan 2-3% Mg Dapat mudah ditempa, dirol dan di ekstruksi.



Gambar 2. Diagram Fasa Biner Semu Dari Paduan Al-Mg₂Si

Diagram Fasa Al-Si



Gambar 3. Diagram Fasa Al-Si

Diagram fasa diatas adalah tipe eutektik yang sederhana yang mempunyai titik eutektik pada 577°C, dan 11,7% Si,

larutan padat terjadi pada sisi Al. Karena batas kelarutan padat sangat kecil maka pengerasan penuaan sukar diharapkan.

Paduan Al-Si memiliki sifat mampu cair sangat baik, yang mempunyai permukaan bagus sekali, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan paduan ini juga mempunyai ketahanan korosi yang baik, sangat ringan, koefisien pemuaian panas yang kecil dan sebagai penghantar panas yang baik untuk listrik dan panas.

Macam-Macam Sifat Aluminium Secara Umum.

Aluminium adalah merupakan logam yang lembut dan ringan, dengan warna keperakan pudar yang disebabkan adanya lapisan oksida yang tipis yang terbentuk apabila bereaksi dengan udara. Aluminium secara umum mempunyai sifat fisik yaitu tahan terhadap korosi. Aluminium juga mempunyai sifat penghantar panas dan listrik yang baik. Aluminium mempunyai sifat mekanik yang buruk, sehingga perlu dilakukan pemaduan. Contoh Al-Si mempunyai sifat ketahanan korosi yang tinggi dan tahan terhadap panas. Al-Mg mampu menahan oksidasi dan retak pada suhu tinggi serta dapat meningkatkan kekuatan tarik dan pengersan inti dengan penambahan paduan Cr.

Paduan Aluminium Selain Al-Si-Mg

Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Pada paduan ini terjadi pengerasan penuaan. Sebagai paduan coran dipergunakan paduan yang mengandung 4-5% Cu. Ternyata fasanya paduan ini mempunyai daerah luas dari pembekuannya, penyusutan yang besar, resiko besar pada kegetasan panas dan mudah terjadi retakan pada coran.

Sebagai paduan Al-Cu-Mg paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh penuaan pada temperatur biasa setelah pelarutan, paduan ini ditemukan oleh A.Wilm dalam usaha mengembangkan paduan Al yang kuat yang dinamakan duralumin.

Paduan Al-Mn

Mn adalah unsur yang memperkuat Al tanpa mengurangi ketahanan korosi, dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Fasa Al-Mn yang ada dalam keseimbangan dengan larutan padat Al adalah Al_6Mn dengan 25,3% Mn. Sebenarnya paduan Al-1,2% Mn dan Al-1,2% Mn-1,0% Mg dinamakan paduan 3003 dan 3004 yang digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas.

Paduan Al-Mg-Zn

Telah diketahui sejak lama bahwa paduan sistim ini dapat dibuat keras sekali

dengan penuaan setelah perlakuan pelarutan. Tetapi sejak lama tidak dipakai sebab mempunyai sifat patah getas oleh retakan korosi tegangan. Di Jepang pada permulaan tahun 1940 Igarashi dkk mengadakan studi an berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira-kira 0,3 Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus, dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan ESD (*Extra Super Duralumin*). duralumin super ekstra. Selama perang dunia ke II di Amerika Serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan. Yaitu paduan yang terdiri dari Al-5,5%, Zn-2,5%, Mn-1,5%, Cu-0,3%, Cr-0,2% sekarang dinamakan paduan 7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara. Disamping itu penggunaannya menjadi lebih lebih penting sebagai bahan konstruksi.

Cetakan Logam

Cetakan Logam (*permanent mold casting*) adalah cetakan yang terbuat dari logam atau metal, biasanya dipakai pada proses pengecoran yang memproduksi suatu produk yang bentuknya sederhana dan dalam jumlah yang banyak. Cetakan logam memiliki beberapa keunggulan yaitu

adalah dapat dipakai mengecor logam secara berulang-ulang dengan ukuran dan bentuk produk yang sama serta dapat menghemat biaya pembuatan cetakan. Cetakan logam terbuat dari jenis logam ferrous atau baja khusus (*special steel*), salah satunya adalah besi tuang paduan (*Alloy cast Iron*).

Mekanisme Proses Pendinginan

Pada proses pengecoran dengan menggunakan cetakan logam bagian dalam dari coran mendingin lebih lambat dari pada bagian luar, sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut berbentuk panjang seperti kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar, umpamanya pada pengecoran dengan cetakan logam.

Hal-hal penting proses peleburan Al/Al paduan.

- a. Pemanasan tidak lebih dari 770°C. Diatas temperatur tersebut akan terjadi kontaminasi gas H₂ yang besar sehingga menjadi porositas pada produk cor.
- b. Gunakan selalu bahan baku dan alat-alat yang bersih dan kering. Al-ingot dari dari pabrik Aluminium sekunder bersertifikat hasil analisa merupakan pilihan terbaik pada proses ini. Untuk penggunaan bahan daur ulang maupun

skrap, perhatikan kebersihannya (pasir cetak, oli, air, sampah dll).

- c. Krusibel harus bebas retak dan bersih dari dari sisa-sisa cairan maupun kotoran lainnya sebelum proses dimulai. Sisa cairan yang umumnya berupa oksida akan mengakibatkan terbentuknya inklusi-inklusi keras didalam produk serta menjadi tempat gas-gas menempel atau terjebak. Sedangkan retak rambut sekalipun tidak tertembus cairan namun akibat tekanan yang tinggi diruang bakar (terutama pada tanur berbahan bakar minyak) akan dapat dilalui oleh gas-gas sisa pembakaran (khususnya H₂) sehingga masuk kedalam cairan.
- d. Bahan baku hanya dimuatkan kedalam krusibel yang telah panas. Demikian halnya peralatan, harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan.
- e. Perhatikan bahwa Aluminium paduan bebas Cu dilarang dilebur menggunakan krusibel bekas Aluminium berpaduan Cu. Pada umumnya Cu akan mengendap didasar dan atau tersisa pada dinding krusibel sehingga selalu akan menaikkan kandungan Cu pada bahan hasil proses peleburan selanjutnya. Untuk kasus seperti diatas, sebaiknya sebelum melakukan proses peleburan Al paduan non Cu, terlebih dahulu dilakukan proses peleburan

- antara dengan tujuan untuk membersihkan sisa-sisa dan endapan Cu dari dalam krusibel.
- f. Kontrol temperatur setelah pencairan harus sangat diperhatikan serta serendah mungkin sehingga kontaminasi gas dapat ditekan. *Holding* temperatur dianjurkan hanya sedikit diatas suhu liquidusnya. Barulah menjelang proses penuangan, temperatur dinaikkan hingga temperatur *tapping* secepat mungkin.
- g. Perbandingan ramuan antara ingot dengan bahan daur ulang yang baik adalah 40 : 60. Dengan catatan perbandingan dapat berbeda hanya dengan menambahkan persentase ingot. Perbandingan ramuan sebaiknya dipertahankan tetap, sebab perubahan yang sering dilakukan hanya akan menurunkan kualitas hasil peleburan.
- h. Bila proses peleburan disertai dengan pembubuhan bahan aditiv (modifikasi, grain refining dll) perhatikan bahwa bahan-bahan tersebut harus kering (kelembaban maksimum 0.1%). Pengeringan dapat dilakukan dengan cara pemanasan awal baik didalam tungku pemanas ataupun memanfaatkan udara panas buangan dari tanur krusibel. Perlu diketahui, bahwa pada umumnya bahan-bahan tersebut bersifat higroskopis. Pada penyimpanan dalam waktu lama serta akibat dari kelembaban udara biasanya memiliki kelembaban 0.5% – 1%.
- i. Permukaan cairan Aluminium selalu diselimuti oleh Al₂O₃. Selimut ini penting bagi pencegahan kontaminasi gas lainnya sehingga harus selalu dijaga utuh. Bila selimut ini rusak, akan segera terbentuk selimut baru sebagai hasil reaksi antara cairan Al dengan udara. Hasil sampingan dari reaksi tersebut adalah gas H₂ yang masuk kedalam cairan. Disamping itu, mengingat berat jenis oksida aluminium mirip dengan Aluminium itu sendiri, maka pada saat rusak oksida ini dapat tenggelam dan menjadi inklusi.

METODOLOGI PENELITIAN

Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah :

1. Persiapan bahan bahan cor jenis paduan Al seri 6063.
2. Mendesain dapur krusibel.
3. Melebur bahan baku cor didalam dapur krusibel, dan dilanjutkan dengan penuangan kedalam cetakan logam.
 - a) Penuangan pertama : logam cair dituang kedalam cetakan dengan tanpa penambahan paduan Mg
 - b) Penuangan kedua : logam cair dituang kedalam cetakan dengan penambahan paduan 1%

c) Mg Penuangan ketiga : logam cair dituang kedalam cetakan dengan penambahan paduan 1,5% Mg

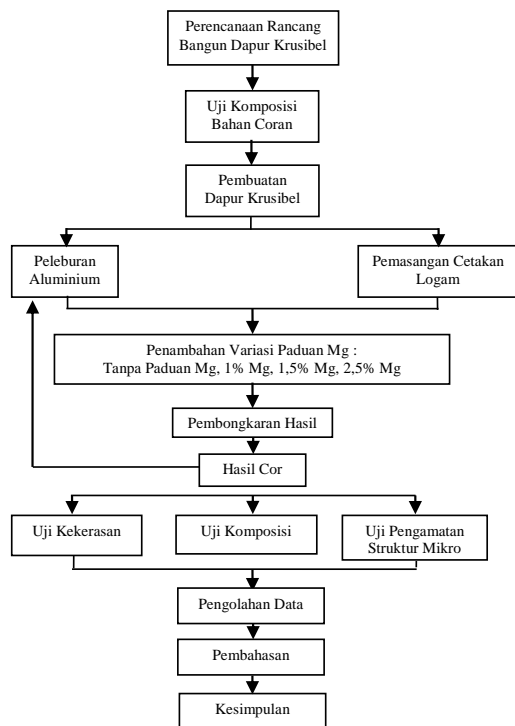
d) Penuangan keempat : logam cair dituang kedalam cetakan dengan penambahan paduan 2,5% Mg

4. Setelah proses pembongkaran dilanjutkan proses pembuatan spesimen uji.

5. Pengambilan data spesimen: benda hasil pengecoran dibuat spesimen uji keras dan struktur mikro. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji *Rockwell* skala B dengan beban mayor 100 kg dan indentor bola baja berdiameter 1/16".

Diagram Alir Penelitian

Berikut adalah diagram alir penelitian proses pengecoran :



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Penelitian

Uji Komposisi Kimia Hasil Cor

Hasil uji komposisi tanpa penambahan Mg

Tabel 1. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Tanpa Penambahan Mg

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	Si	0,583 %
2.	Fe	0,092 %
3.	Cu	0,173 %
4.	Mn	0,065 %
5.	Mg	0,590 %
6.	Zn	0,114 %
7.	Cr	0,028 %
8.	Ti	0,010 %
9.	Al	98,345 %

Hasil uji komposisi dengan penambahan 1% Mg

Tabel 2. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Dengan Penambahan 1% Mg

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	Si	0,601 %
2.	Fe	0,073 %
3.	Cu	0,165 %
4.	Mn	0,091 %
5.	Mg	0,899 %
6.	Zn	0,122 %
7.	Cr	0,028 %
8.	Ti	0,010 %
9.	Al	98,011 %

Hasil uji komposisi dengan penambahan 1,5% Mg

Tabel 3. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Dengan Penambahan 1,5% Mg

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	Si	0,634 %
2.	Fe	0,059 %
3.	Cu	0,172 %
4.	Mn	0,087 %
5.	Mg	1,609 %
6.	Zn	0,190 %
7.	Cr	0,046 %
8.	Ti	0,010 %
9.	Al	97,199 %

Hasil uji komposisi dengan penambahan 2,5% Mg

Tabel 4. Data Hasil Uji Komposisi Kimia Dengan Penambahan 2,5% Mg

No.	Komposisi	Konsentrasi (%)
1.	Si	0,631 %
2.	Fe	0,042 %
3.	Cu	0,209 %
4.	Mn	0,085 %
5.	Mg	2,437 %
6.	Zn	0,186 %
7.	Cr	0,091 %
8.	Ti	0,010 %
9.	Al	96,309 %

Uji kekerasan

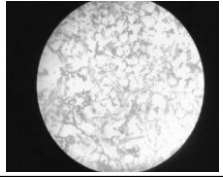
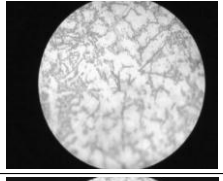
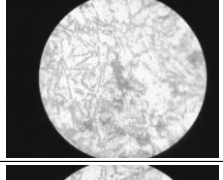

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan mesin uji *Rockwell* skala B dengan beban mayor 100 kg dan indentor bola baja berdiameter 1/16".

Tabel 5. Data Hasil Uji Kekerasan

No	Persentase Mg	Kekerasan	Kekerasan rata-rata (HR _B)
1	Tanpa penambahan unsur Mg	30,2	30,9
		30,8	
		31,9	
2	1%	40,4	40,7
		40,7	
		41	
3	1,5%	42,2	42,5
		42,7	
		42,8	
4	2,5%	44,8	45,3
		45,4	
		45,8	

Uji Struktur Mikro

Tabel 6. Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

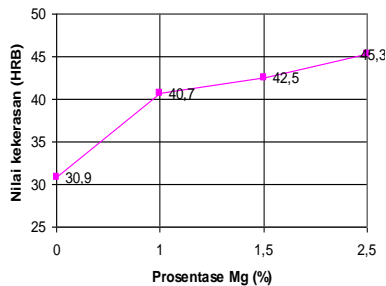
No	Prosentase Mg	Fasa Struktur
1	Tanpa Penambahan Unsur Mg	
2	1%	
3	1,5%	
4	2,5%	

Pembahasan

Hasil Uji Kekerasan

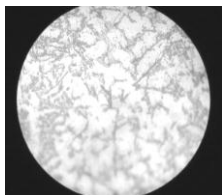
Berdasarkan data uji kekerasan dan struktur mikro yang diperoleh pada pengujian kekerasan pada Al-Si seri 6063 yang diperoleh dari penambahan unsur 1% Mg, 1,5% Mg, 2,5% Mg menunjukkan angka kekerasan semakin tinggi dari 30,9 HR_B, 40,7 HR_B, 42,5 HR_B, 45,3 HR_B (tabel 2 dan grafik 1). Angka kekerasan cenderung semakin besar disebabkan adanya pengaruh penambahan unsur Mg terhadap Al-Si, Hal ini diakibatkan oleh adanya pengaruh penambahan Mg dimana unsur Mg didalam cairan aluminium.

Mg berfungsi sebagai pengikat antara unsur-unsur paduan yang lainnya. Disamping itu unsur Mg dapat membentuk spinel-spinel Al-Mg₂Si, MgO, Mg₂Al₃ dan Mg₂SiO₄ yang meningkatkan sifat keras dari aluminium. Unsur Mg dalam paduan Al-Si menyebabkan ukuran butir menjadi semakin kecil dan rapat, sehingga dengan penambahan unsur Mg maka kekerasan dari coran akan semakin keras.

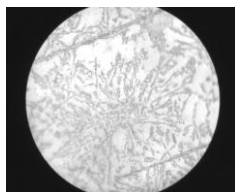


Gambar 5. Grafik Hubungan Nilai Kekerasan Terhadap % Mg Struktur Mikro

Bertambahnya prosentase Mg maka akan semakin terlihat batas butir yang semakin rapat. Dapat dilihat pada tabel 3, mulai dari prosentase 1% sampai 2,5% sangat jelas terlihat bedanya.



Gambar 5. Struktur Mikro Dengan Penambahan Unsur 1% Mg



Gambar 6. Struktur Mikro Dengan Penambahan Unsur 2,5% Mg

Dapat dilihat pada struktur mikro diatas bahwasanya dengan penambahan unsur Mg pada paduan Al-Si akan dapat mempengaruhi bentuk struktur dari hasil pengecoran paduan Al-Si yaitu bentuk fasanya cenderung membentuk serpihan yang ramping kemudian bentuk dan ukuran butirnya menjadi lebih rapat dan homogen.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan yaitu semakin banyak penambahan prosentase unsur Mg pada Paduan Al-Si, maka nilai kekerasan semakin tinggi begitu pula semakin banyak penambahan prosentase unsur Mg pada Paduan Al-Si, maka bentuk fasanya cenderung membentuk serpih dan ukuran butirnya menjadi lebih rapat dan homogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrijono Djoko R., tanpa tahun. **Diktat Proses Produksi Pengecoran**, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang.
- Mardjuki, tanpa tahun. **Diktat Pemilihan Bahan Dan Proses**, Jurusan Teknik Mesin fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang.
- Mikell P. Groover, 2007, *Fundamental Of Modern Manufacturing*, Wiley Asia Student Edition USA.
- Surdia Tata, Chenji Chijiwa, 1986, **Teknik Pengecoran Logam**, PT. Pradnya Paramitha, Jakarta.