

# PENGEMBANGAN PADUAN Al-Si HIPEREUTEKTIK YANG AKAN DITERAPKAN UNTUK KOMPONEN OTOMOTIP

Akhmad Saufan<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

## ABSTRACT

*This research will develop the hypereutectic Al-Si alloy that will be used to make automotive parts. The progress of this study is to make three alloy compositions; Al-30Si, Al-35Si and Al-40Si. The making process of the alloys by melting and alloying which are then poured into steel tube mold at different casting temperatures but the same superheat 100°C. The cast products are then metallographic tested and hardness tested. The microstructure of those three cast alloy products is cast structure consisting of much elongated large proeutectic silicon phase, the lamellar eutectic phase, chill structure, and cast defects consisting of shrinkage and porosity. The Brinell Hardness Number of the three cast products show that hardness of the Al-Si alloy will increase by increasing silicon content.*

**Keywords:** paduan Al-Si, hipereutektik, fasa eutektik, silikon proeutektik

## 1. PENDAHULUAN

Dinding silinder (cylinder liner) pada motor bakar torak (motor bensin, motor diesel) saat ini masih terbuat dari bahan besi cor kelabu (*grey cast iron*)[1]. Material ini berbasis besi, sehingga memiliki densitas tinggi (berat). Kecenderungan saat ini hampir setiap komponen diusahakan untuk dibuat dari bahan yang memiliki densitas rendah (ringan), tidak terkecuali *cylinder liner*.

Material ringan yang dipilih untuk membuat komponen otomotif adalah aluminium. Logam ini memiliki sifat-sifat lain seperti tahan korosi, konduktivitas panas dan listrik yang baik, keuletan yang tinggi, tetapi kekuatan rendah dan kekerasan rendah (lunak)[2]. Adanya sifat kekuatan dan kekerasan yang rendah pada aluminium ini merupakan kelemahan pada logam aluminium murni bila dipakai untuk membuat komponen otomotif. Untuk itu berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasannya.

Aluminium ditingkatkan kekerasannya dan kekuatannya dengan cara dipadu dengan titanium (Ti) untuk membentuk paduan fasa gama ( $\gamma$ ), dan paduan fasa senyawa aluminida  $Ti_3Al$  [3]. Kedua macam paduan tersebut dibuat dengan teknik metalurgi serbuk[4,5,6,7]. Selanjutnya aluminium juga dipadu dengan nikel untuk membentuk senyawa  $NiAl$  maupun  $Ni_3Al$ . Material-material tersebut dibuat dengan teknik logam serbuk[8], ataupun *electron beam gas condensation*[9].

Aluminium dipadu dengan silikon, disamping meningkat kekuatannya juga tetap tahan korosi. Jumlah silikon yang telah dipadukan antara lain 2,5%, 5%, 5,2%, 5,5%, 6%, 7%, 9%, 9,5%, 10%, 10,5%, 11,2%, 12%, dan tertinggi saat ini 17%[10].

Dengan semakin tinggi kandungan silikon maka kekuatan maupun kekerasannya menjadi semakin tinggi pula. Pembuatan paduan-paduan tersebut dilakukan dengan peleburan, pepaduan, dan pengecoran.

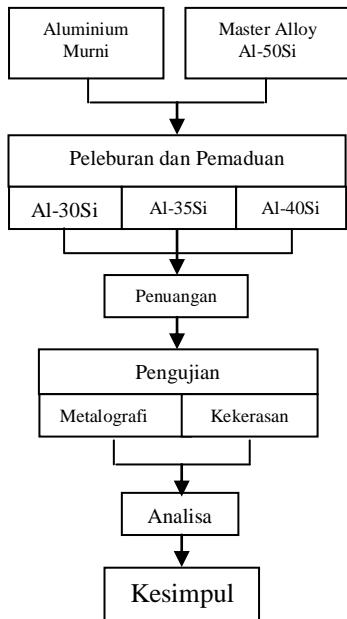
Terhadap paduan Al-Si telah dilakukan berbagai upaya untuk meningkatkan kekuatan maupun kekerasan; dengan electromagnetic stirring[11], getaran[12,13], getaran pada permukaan paduan yang masih cair[14], mempercepat laju pembekuan[14], penghalus butir[15], dan kombinasi pengecoran dan tempa[16,17].

Paduan Al-Si selanjutnya juga dilakukan penambahan fasa terdispersi dengan cara memasukkan serbuk keramik sehingga menjadi bahan komposit. Bahan komposit ini telah dicoba untuk membuat komponen otomotif[18,19]. Serbuk keramik yang digunakan adalah serbuk  $Al_2O_3$ [20,21] ataupun serbuk SiC[18,22,23,24]. Adapun teknik pembuatan material ini ada yang melalui teknik logam serbuk[24] tetapi ada juga yang melalui teknik pengecoran[20,21,22,23].

Yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah baru sampai tahap membuat paduan aluminium-silikon dengan kandungan silikon yang lebih tinggi yaitu 30 %, 35 % dan 40%. Paduan dibuat melalui proses peleburan dan pepaduan. Teknik pengecoran yang digunakan adalah *grafity casting*. Paduan yang dibuat kemudian dilakukan uji metalografi dan uji keras.

## 2. PROSEDUR PENELITIAN

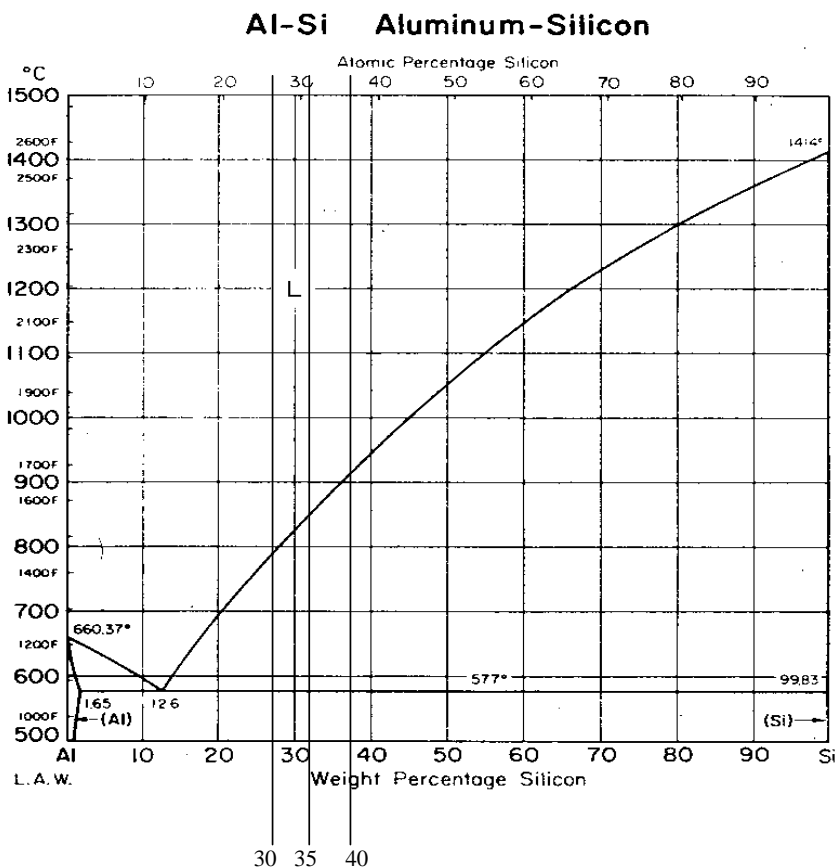
Rangkaian langkah-langkah dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan diagram alir penelitian sebagaimana dapat dilihat pada gambar (1).



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat paduan Al-Si hipereutektik dengan tiga macam komposisi kimia; Al-30 Si, Al-35Si, dan Al-40Si. Untuk itu perlu disiapkan tiga macam racikan untuk membuat tiga paduan tersebut yang bahan dasarnya berupa aluminium murni komersial dan *master alloy* Al-50Si.

Masing-masing racikan dilakukan peleburan dengan temperatur yang berbeda-beda semakin tinggi kandungan silikon dalam paduan yang akan dibuat, maka temperatur peleburannya juga semakin tinggi. Tinggi temperatur peleburan ini mengacu pada diagram fasa Al-Si gambar (2), dimana temperatur peleburan berada di atas garis liquidus. Superheat temperatur tuang pada penelitian ini diambil 100°C, sehingga masing-masing temperatur tuangnya untuk Al-30Si adalah 930°C, Al-35Si adalah 990°C, dan Al-40Si adalah 1050°C.



Gambar 2 Diagram Fasa Al-Si[10]

Lelehan paduan yang sudah jadi dituangkan ke dalam cetakan tabung baja. Hasil coran yang sudah membeku dikeluarkan dari cetakan, dilakukan pemotretan dan kemudian dibelah arah membujur. Belahan hasil coran dibingkai dengan resin termoset untuk memegang ketika melakukan proses metalografi. Hasil pembersihan diampelas dengan kertas ampelas dari yang paling kasar hingga yang paling halus. Kertas ampelas paling kasar yang dipakai adalah nomor 60 untuk mempercepat perataan permukaan specimen. Setelah permukaan specimen diratakan dengan kertas ampelas nomor 60, kemudian secara berturut-turut dilanjutkan dengan kertas ampelas nomor-nomor di atasnya hingga yang terakhir kertas ampelas paling halus nomor 2000.

Specimen hasil pengampelasan dengan kertas ampelas nomor 2000 dipoles pada kain beludru yang diberi bahan abrasive serbuk alumina yang halus. Proses pemolesan berakhir bilamana goresan bekas ampelas nomor 2000 sudah hilang.

Setelah pemolesan selesai, dilanjutkan dengan mencuci specimen hingga bersih menggunakan sabun untuk menghilangkan lemak dan kotoran lain yang belum bisa pergi hanya dengan air biasa. Specimen segera dietsa menggunakan larutan etsa Keller dengan komposisi 2,5 mL HNO<sub>3</sub>, 1,5 mL HCl, 1,0 mL HF, dan 95 mL air [25]. Setelah specimen dicelupkan ke dalam larutan tersebut harus segera dicuci bersih, dikeringkan, dan disimpan. Pemeriksaan hasil menunggu setelah sehari semalam, untuk memastikan HF telah habis, agar tidak merusak lensa mikroskop optik. Jika struktur mikro sudah berhasil, kemudian dipotret. Sebaliknya, jika struktur mikro belum berhasil dimunculkan, maka harus kembali ke pengampelasan menggunakan kertas ampelas nomor 2000, dan seterusnya.

Pengujian kekerasan menggunakan mesin uji keras brinell. Persiapan yang perlu dilakukan adalah membuat specimen yang memiliki dua sisi yang sejajar dengan ketebalan minimal satu senti meter. Dua sisi sejajar ini harus diratakan dengan pengampelasan hingga halus supaya tidak mengganggu pembacaan ukuran bekas pijakan identor mesin uji keras brinell.

### 3. HASIL PENELITIAN

#### 3.1. Hasil Pengecoran

Contoh hasil coran dapat dilihat pada gambar (3). Coran paduan Al-Si berbentuk silinder pejal setelah dikeluarkan dari cetakan tabung baja. Tiga silinder hasil coran yang merupakan tiga macam paduan Al-30Si, Al-35Si, dan Al-40Si kemudian dipotong membujur dan dimetalografi. Hasilnya difoto secara makro diperlihatkan pada gambar (4). Dari foto makro tersebut terlihat adanya cacat

coran berupa porositas dan penyusutan di bagian atas coran.

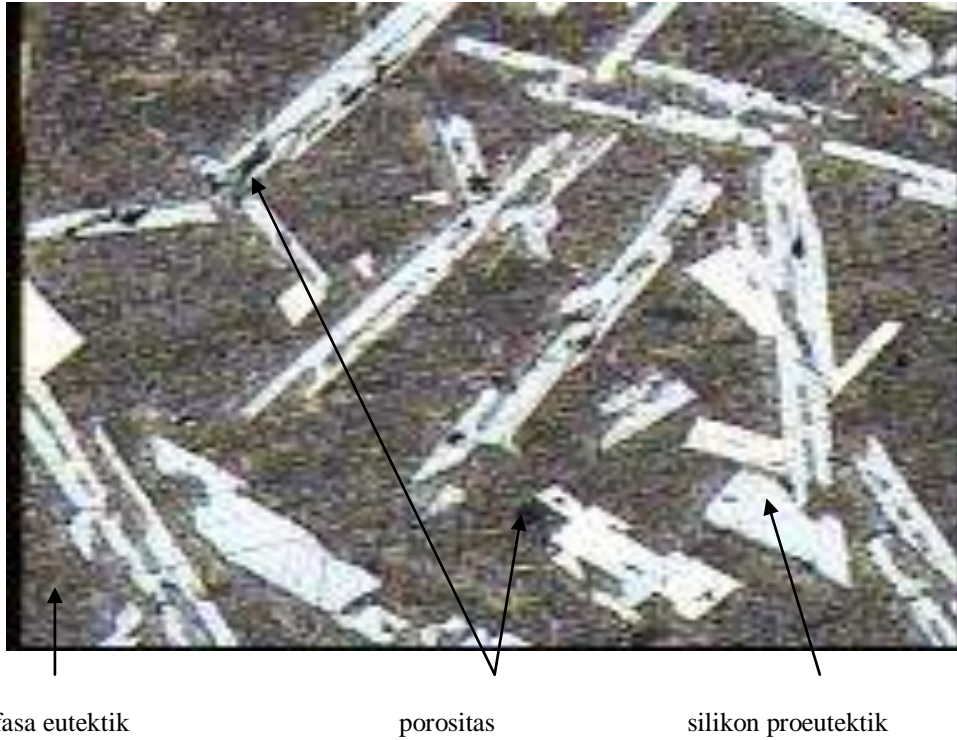


Gambar 3 Coran Al-Si berbentuk silindris



Gambar 4 Foto makro coran

3.2. Struktur Mikro



fasa eutektik

porositas

silikon proeutektik

Gambar 5 Struktur mikro paduan Al-30Si. Perbesaran 100X



fasa eutektik

porositas

silikon proeutektik

Gambar 6 Struktur mikro paduan Al-35Si. Perbesaran 100X

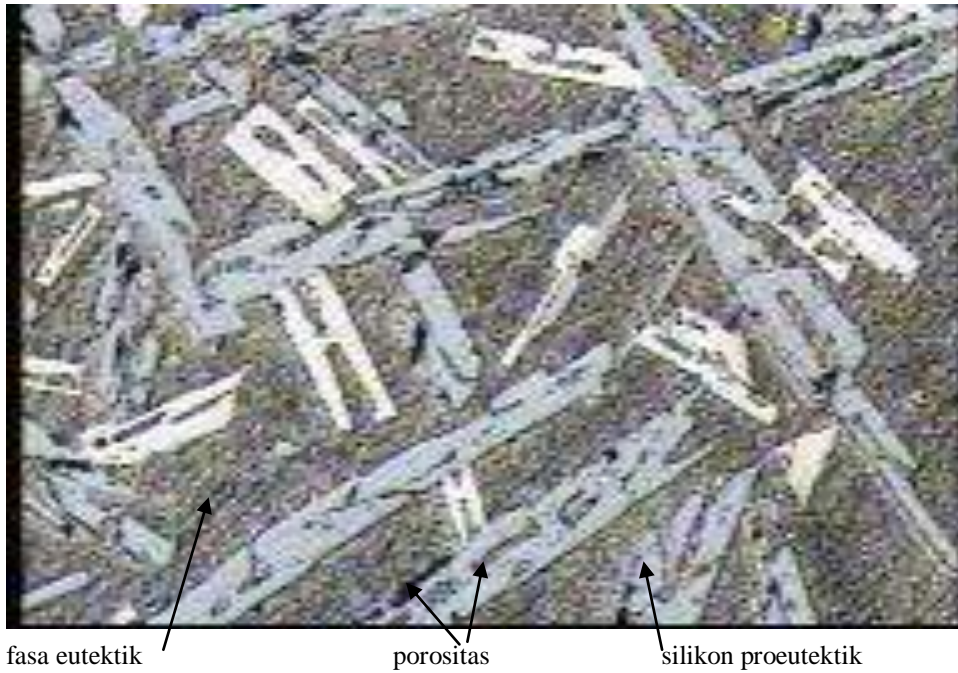
Pada gambar (5) diperlihatkan struktur mikro paduan Al-30Si hasil pengecoran pada cetakan tabung silinder baja. Struktur mikro tersebut terdiri dari matrik yang berupa fasa eutektik dan silikon proeutektik yang berukuran besar-besar dan panjang-panjang. Pada struktur mikro tersebut juga masih terlihat adanya porositas

berukuran kecil dalam fasa eutektik maupun dalam silikon proeutektik.

Fenomena yang sama dengan gambar (5) diperlihatkan pada gambar (6) yang merupakan struktur mikro paduan Al-35Si maupun gambar (7) yang merupakan struktur mikro paduan Al-40Si. Struktur mikro memperlihatkan matrik yang berupa

fasa eutektik dan silikon proeutektik yang berukuran besar-besar dan panjang-panjang juga. Hanya saja jumlah fasa silikon proeutektik semakin

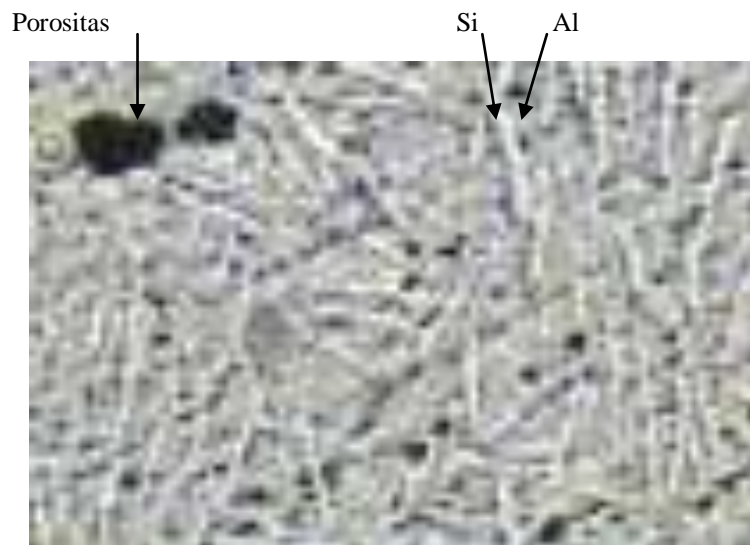
banyak. Porositas berukuran kecil dalam fasa eutektik maupun dalam silikon proeutektik juga ada.



Gambar 7 Struktur mikro paduan Al-40Si. Perbesaran 100X



Gambar 8 Struktur mikro paduan Al-Si di tepi benda coran. Perbesaran 100X



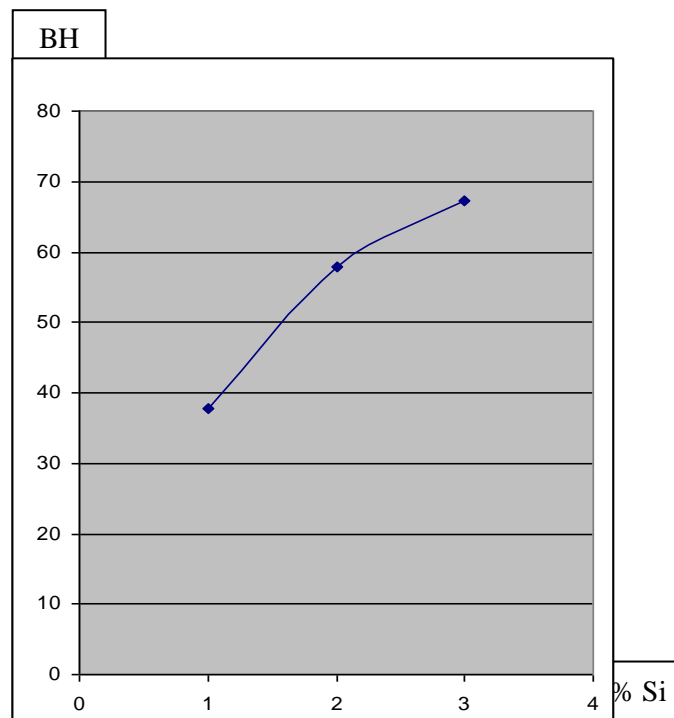
Gambar 9 Struktur eutektik paduan Al-Si hipereutektik . Perbesaran 1000X

### 3.3. Kekerasan

Harga kekerasan ketiga paduan diperlihatkan pada tabel (1) dan kemudian diwujudkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar (10). Harga kekerasan paduan Al-Si akan naik dengan bertambahnya kandungan silikon.

Tabel 1 Harga Kekerasan

No	Paduan	BHN
1	Al-30Si	37
2	Al-35Si	58
3	Al-40Si	67



Gambar 10 BHN versus kandungan Si dalam paduan Al-Si

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Coran

Benda coran ketiga paduan hipereutektik; Al-30Si, Al-35Si, dan Al-40Si secara visual tidak ada masalah, permukaan dinding silindrisnya relative mulus, seperti diperlihatkan pada gambar (3). Namun bila dilihat dari foto makro gambar (4), terlihat bahwa coran-coran tersebut memiliki cacat-cacat antara lain penyusutan dan porositas. Penyusutan dapat dilihat pada permukaan atas coran yang mengempot ke arah bawah, dan pada bagian dinding silindris bagian atas juga terjadi pengecilan diameter yang lebih besar dari bagian bawahnya. Penyusutan di bagian atas tersebut akibat material ketarik ke arah bawah di bagian tengah sumbu silinder.

Adapun cacat porositas yang mengumpul di bagian atas benda coran, sebagai akibat gas-gas dari bagian bawah yang bergerak ke atas untuk keluar terjebak oleh permukaan benda coran yang sudah membeku.

### 4.2. Struktur Mikro

Proses turunnya temperatur dan solidifikasi berlangsung dengan relatif cepat. Struktur mikro yang dihasilkan dari proses metalografi menunjukkan bahwa adanya struktur coran yang terdiri dari fasa silikon proeutektik yang besar dan panjang dan *chill structure*. Fasa silikon proeutektik seperti telah ditunjukkan pada gambar (5), (6), dan (7) tumbuh memanjang setelah *chill structure* dengan ukuran lebih besar dan lebih panjang dari ukuran silikon proeutektik di bagian *chill structure*. Sedangkan *chill structure*, seperti pada gambar (8) terbentuk karena proses pendinginan yang sangat cepat. Cairan paduan logam yang bersentuhan langsung dengan dinding cetakan mengalami penurunan temperatur yang sangat cepat. Akibat dari laju penurunan temperatur yang cepat maka laju pengintian fasa padat pada cairan logam yang bersentuhan dengan dinding cetakan menjadi tinggi. Dengan tingginya jumlah inti fasa padat akibatnya butir-butir fasa padat

menjadi sangat halus. Hal inilah yang menjadi penyebab terbentuknya *chill structure* pada permukaan hasil coran.

Fasa eutektik pada tiga macam paduan tersebut dapat dilihat pada gambar (9). Struktur mikro dari fasa eutektik ini adalah struktur lamelar yang terdiri dari fasa Si yang bentuknya memanjang dan fasa Al yang sangat halus sebagai akibat proses pembekuan yang relative cepat karena cetakan berupa baja.

#### 4.3. Kekerasan

Tiga paduan Al-Si yang dibuat adalah paduan hipereutektik. Pada paduan tersebut jika diperhatikan pada diagram fasanya, akan terlihat bahwa pada paduan-paduan tersebut terdiri dari dua macam fasa; yaitu fasa silikon proeutektik, dan fasa eutektik. Fasa eutektik terdiri dari dua jenis fasa; yaitu fasa silikon dan fasa aluminium.

Harga kekerasan paduan akan naik dengan naiknya kandungan silikon dalam paduan. Hal ini terjadi karena dengan naiknya kandungan silikon maka fasa yang keras, fasa silikon, dalam paduan bertambah banyak. Fasa silikon yang bertambah dalam hal ini adalah fasa silikon proeutektik.

#### 4.4. Dampak Bertambahnya Fasa Silikon

Fasa aluminium memiliki sifat ulet tetapi lunak. Sedangkan fasa silikon memiliki sifat lebih keras, tetapi bersifat getas. Pada paduan ini sebagai bahan dasarnya adalah aluminium. Sedangkan silikon sebagai unsur pematu. Keberadaan fasa silikon di dalam matrik aluminium adalah sebagai fasa penguat yang tersebar.

Fasa silikon disamping dapat meningkatkan kekuatan/kekerasan, kebedaannya memiliki dampak lain. Oleh karena sifat silikon adalah keras dan getas, dengan semakin tinggi kandungan silikon pada paduan ini maka jumlah fasa silikon akan semakin tinggi juga. Sebagai akibatnya adalah paduan akan menjadi semakin getas, atau keuletan paduan akan semakin berkurang dengan semakin tingginya kandungan silikon dalam paduan Al-Si. Adapun harga kegetasan pada penelitian ini belum dilakukan pengujian. Disamping itu pada penelitian ini selanjutnya masih harus dilakukan rekayasa terhadap struktur mikro maupun mengatasi cacat-cacat pengecoran.

### 5. KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

a. Struktur mikro dari hasil pengecoran paduan Al-30Si, Al-35Si, dan Al-40Si adalah *cast structure* yang terdiri dari fasa silikon

proeutektik yang besar memanjang, fasa eutektik yang lamelar, dan *chill structure*.

- b. Cacat-cacat coran yang terjadi pada penelitian ini adalah penyusutan dan porositas.  
c. Harga kekerasan akan naik dengan naiknya kandungan silikon.

#### 5.2. Saran

- a. Perlu ditindak lanjuti uji dampak untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban tiba-tiba.  
b. Perlu ditindak lanjuti perlakuan cairan sebelum membeku untuk menghaluskan silikon proeutektik.  
c. Perlu dilakukan perbaikan teknik pengecoran untuk menghilangkan cacat-cacat coran; porositas dan penyusutan.

### PUSTAKA

- 1 **Angus, H.T.**, *Cast Iron: Physical and Engineering Properties*, Butterworth, London, 1978.
- 2 **Smith, W.F.**, *Structure and Properties of Engineering Alloys second edition*, McGraw-Hill, Singapore, 1993.
- 3 **Boyer, R., Welsch, G., and Collings, E.W.**, *Materials Properties Handbook: Titanium Alloys*, ASM International, USA, 1994.
- 4 **Yang, J.B., Teoh, K.W., and Hwang, W.S.**, "Solid-State Hot Pressing of Elemental Aluminium and Titanium Powders to Form TiAl ( $\gamma + \alpha_2$ ) intermetallic Microstructure", *Journal of Materials Engineering Performance*, Volume 5(5) October 1996 583-588.
- 5 **Wu, X., and Bowen, P.**, "Effects of Microstructure on the Fracture Toughness of Ti3Al-Based Titanium Aluminides", *Metallurgical and Materials Transaction A*, Volume 28A June 1997 1357-1365.
- 6 **Yang, J.B., and Hwang, W.S.**, "The Preparation of TiAl-Based Intermetallics from Elemental Powders through a Two-Step Pressureless Sintering Process", *Journal of Materials Engineering Performance*, Volume 7(3) June 1998 385-392.
- 7 **Huang, H., Virtanen, P., Tiainen, T., and Ji, Y.**, "Synthesis of  $\gamma$ -TiAl Based Alloy by Mechanical Alloying and Reactive Hot Isostatic Pressing", *Journal of Materials Engineering Performance*, Volume 7(6)

- December 1998 784-788.
- 8 **Albers, M., Kath, D., and Hilpert, K.**, "Thermodynamic Activities and Phase Boundaries for the Alloys of the Solid Solution of Co in Ni3Al", *Metallurgical and Materials Transaction A*, Vol. 28A, November 1997, pp 2183-2188.
  - 9 **Chouldry, M.S., Dollar, M., and Eastman, J.A.**, "Nanocrystalline NiAl-processing, characterization and mechanical properties", *Materials Science and Engineering A*, 256 (1998), pp. 25-33.
  - 10 **ASM**, *ASM HANDBOOK Volume 2 Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials Formerly Tenth Edition*, ASM International, USA, 1992.
  - 11 **Griffith, W.D., and McCartney, D.G.**, "The Effect of Electromagnetic Stirring During Solidification on The Structure of Al-Si Alloys", *Materials Science and Engineering A*, A216 (1996) 47-60.
  - 12 **Heine, R.W., Loper, C.R., and Rosenthal, P.C.**, *Principles of Metal Casting*, Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1982.
  - 13 **Rusli, R.H.**, *Dasar Teori Solidifikasi Metal*, UI Press, Jakarta, 1995.
  - 14 **Ohno, A. and Soda, H.**, "Effect of the Surface Vibration on the Structure of Ingot", *Transaction ISIJ*, Vol. 10, 1970, pp 442-447.
  - 15 **Dasgupta, R.**, "Property improvement in Al-Si alloys through rapid solidification processing", *Journal of Materials Processing Technology*, 72 (1997), 380-384.
  - 16 **Aniyi, J.A., Bello-Ochende, F.L., and Adeyemi, M.B.**, "Effects of Pressure, Die, and Stress Relief Temperatures on Residual Stresses and Mechanical Properties of Squeeze-Cast Aluminium Rods", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.5(3), June 1996, pp 399-404.
  - 17 **Youn, S. W., Kang, C. G., and Seo, P. K.**, "Thermal fluid/solidification analysis of automobile part by horizontal squeeze casting process and experimental evaluation" *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 146, Issue 3 , **10 March 2004**, Pages 294-302.
  - 18 **Allison, J.E., and Cole, G.S.**, "Metal-Matrix Composites in the Automotive Industri: Opportunities and Challenges", *JOM*, January 1993, pp.19-24.
  - 19 **Yue, T.M., and Chadwick, G.A.**, "Squeeze Casting of Light Alloys and Their Composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 58(1996), pp.302-307.
  - 20 **Lee, J.C., Kim, G.H., Lee, J.I., and Lee, H.I.**, "Interfacial Reaction in the Squeeze-Cast (SAFFIL+C)/SAE 329 Al Composite", *Metallurgical and Materials Transaction A*, Volume 28A May 1997 1251-1259.
  - 21 **Taha, M.A., and El-Mahallawy, N.A.**, "Metal-matrix composites fabricated by pressure-assisted infiltration of loose ceramic powder", *Journal of Materials Processing Technology*, 73(1998), pp.139-146.
  - 22 **Zhou, W., and Xu, Z.M.**, "Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 63(1997), pp.358-363.
  - 23 **Yue, T.M., and Chadwick, G.A.**, "Squeeze casting of light alloys and their composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 58(1996), pp.302-307.
  - 24 **Xu, Z.M., Loh, N.L., and Zhou, W.**, "Hot isostatic pressing of cast SiCp-reinforced aluminium-based composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 67(1997), pp.131-136.
  - 25 **Vander Voort, G.F.**, *Metallography, Principles and Practice*, McGraw-Hill, USA, 1984

#### **CURRICULUM VITAE**

Penulis mulai bergabung menjadi tenaga pengajar di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta pada tahun 1993. Adapun pendidikan yang telah ditempuh adalah S1 Pendidikan Teknik Otomotif IKIP Yogyakarta lulus pada tahun 1993, kemudian tertarik untuk mempelajari bidang material dengan menempuh program S2 di Program Studi Ilmu dan Teknik Material ITB yang diselesaikan pada tahun 1999.