

Improving The Physical and Mechanical Properties Of Al-Si Hypoeutectic Alloys with Carbide Particle Addition (SiC/p)

Juriah Mulyanti, Ir., MSc.*

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra – Yogyakarta

*Corresponding author: jm.yanti@janabadra.ac.id

Abstract. Aluminum alloy is a common used material. The innovation to increase performance and minimize its deficiency is developing aluminum composite. This research will measure physical and mechanical performance increase from Al-Si hypoeutectic composting, after adding variety of 10%, 20%, and 30% carbide particle ceramic (Si-C/p) volume fraction aluminum alloy. The composite made with stir casting process on the 650° C temperature and 5 minute stirring time. Measuring of hardness, abrasive relative, and tensile strength, indicate both material mechanical performance and particle Si-C added are increase. Micro structure measurement proof that Si-C strength particle distribution is will have homogeneous desperation. Total of inclusion particle have significant rising as Si-C volume fraction added. Consist of these data, hypoeutectic Al-Si alloy composite can substitute several motorized vehicle component that made from cast iron and carbon steel material without special treatment. Its because of the adequate Al-Si (Si-C/p) material prevent corrosion, light, and small amount of energy during this production.

Abstrak. Aluminium dan paduannya adalah material yang paling umum digunakan. Inovasi untuk meningkatkan keunggulan serta meminimalisir kelemahan sifat aluminium adalah dengan pengembangan komposit aluminium. Penelitian ini akan mengukur peningkatan sifat fisis dan mekanis dari paduan Al-Si *hypoeutectic* akibat pengaruh variasi penambahan keramik partikel karbida (SiC/p). Penambahan SiC/p ditentukan sebanyak 10%, 20%, dan 30% volume berat matrik paduan Al-Si. Pembuatan komposit dilakukan dengan menggunakan proses *stircasting* pada temperatur 650°C dengan waktu pengadukan selama 5 menit. Hasil pengujian kekerasan, ketahanan aus, dan kekuatan tarik yang dilakukan menunjukkan peningkatan sifat mekanis material seiring dengan penambahan partikel SiC. Dari pengamatan struktur mikro juga terlihat bahwa distribusi partikel penguat SiC terdispersi secara homogeny. Peningkatan jumlah pengendapan partikel signifikan dengan meningkatnya penambahan fraksi volume SiC. Berdasarkan data-data tersebut di atas, maka material komposit paduan Al-Si *hypoeutectic* ini mampu menggantikan beberapa komponen kendaraan bermotor yang terbuat dari material besi cor dan baja karbon tanpa perlakuan khusus, karena kelebihan material Al-Si(SiC/p) ini dalam hal ketahanan korosi, ringan, dan rendahnya kebutuhan energi dalam proses pembuatannya.

Kata kunci: Al-Si hypoeutectic alloy, Si-C particle carbide, physical properties, mechanical properties.

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

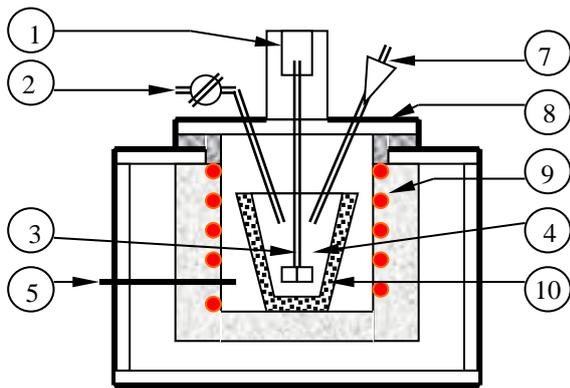
Sehubungan dengan makin langka dan mahalnya bahan bakar serta kebutuhan akan daya dan kecepatan yang semakin tinggi, maka penggunaan material logam yang ringan menjadi hal yang penting. Aluminium dan paduannya adalah material yang paling sering dipilih untuk menanggulangi hal tersebut. Inovasi untuk meningkatkan keunggulan Aluminium serta meminimalisasi kekurangannya adalah dengan pengembangan komposit aluminium.

Material komposit logam adalah kombinasi dari dua material atau lebih dimana logam sebagai matriks dan keramik sebagai penguat. Dengan adanya konsep pengembangan material komposit maka aluminium tersebut dapat dikombinasikan

dengan material keramik yang bertujuan untuk mendapatkan sifat fisis dan mekanik yang lebih unggul, seperti kekuatan modulus spesifik (*specific strength and modulus*) yang tinggi serta berat yang rendah (M.K. Surappa, 2003). Dengan semakin berkembangnya teknologi material komposit tersebut, maka alternatif untuk membuat suatu material baru yang lebih menguntungkan dan mempunyai sifat mekanik dan fisis yang sesuai kebutuhan, akan semakin luas.

Metode pembuatan komposit aluminium pada penelitian ini dilakukan dengan proses *stircasting*, yaitu pencampuran dengan melalui fase cair (*liquid state*). Material paduan aluminium diperoleh dari proses peleburan yang dilanjutkan dengan penambahan penguat keramik (SiC/p) dengan menggunakan proses pengadukan agar

terjadi dispersi partikel keramik yang merata. Keuntungan metode *stircasting* adalah prosesnya yang sederhana, fleksibel dan dapat digunakan untuk produk dalam jumlah besar, serta dapat mereduksi *final cost* dari suatu proses. Metode ini paling ekonomis dalam pembuatan komposit dan memungkinkan digunakan untuk proses fabrikasi komponen yang berukuran besar (<http://www.lanxide.com>).



Gambar 1. Skema tungku *Stircasting* dan perlengkapannya

Keterangan gambar :

- 1) *Frame* penahan motor listrik
- 2) Lubang *injector* gas Argon
- 3) Batang pengaduk
- 4) Cairan paduan aluminium
- 5) *Thermocouple*
- 6) Motor listrik
- 7) Lubang *injector* partikel serbuk
- 8) *Insulation hardboard*
- 9) *Resistance heated furnace*
- 10) *Krusibel* grafit

Penelitian ini akan melihat peningkatan sifat fisis dan mekanis dari paduan aluminium (Al-Si) karena pengaruh penambahan keramik partikel karbida (SiC/p) dengan cara eksperimen dari variasi penambahan jumlah partikel SiC pada matrik paduan Al-Si dengan menggunakan proses *stircasting* pada temperatur 650°C dan kecepatan pengadukan 520 rpm, serta lama pengadukan 5 menit. Eksperimen dilakukan pada material aluminium paduan Al-Si *hypoeutectic* (Si < 11,7%), yang dibuat di dapur krusibel (*crussible furnace*). Penambahan material keramik menggunakan partikel karbida (SiC/p), 200 mesh, dengan tiga variasi % berat yaitu, 10%, 20% dan 30%.

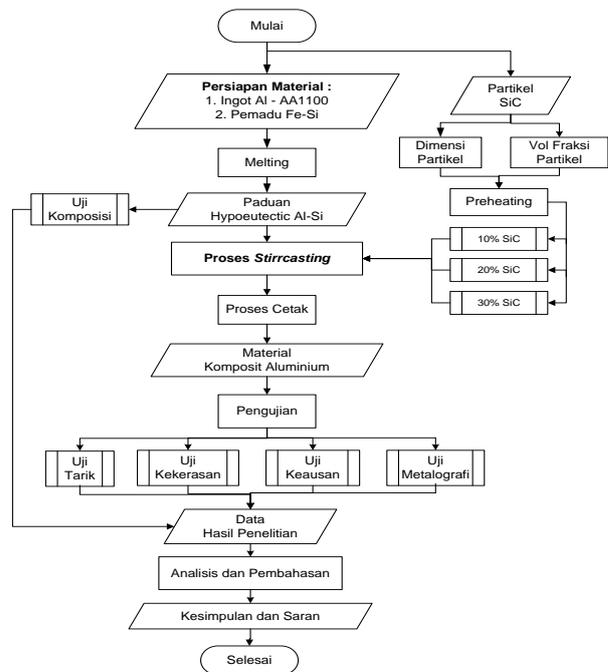
Untuk mengetahui perubahan sifat yang terjadi dilakukan pengujian-pengujian yang meliputi pengujian komposisi dan pengujian metalografi untuk melihat perubahan sifat fisisnya, sedangkan untuk melihat perubahan sifat

mekanismya dilakukan pengujian kekerasan, keausan dan pengujian tarik pada masing-masing benda uji sesudah dilakukan penambahan keramik pada larutan paduan Al-Si.

Analisis dilakukan pada semua hasil pengujian untuk mengetahui perubahan sifat yang diperoleh akibat variasi penambahan partikel keramik dengan metode *stircasting* dan mengetahui kecenderungan yang diperoleh. Diharapkan akan diperoleh peningkatan sifat mekanis yang signifikan berdasarkan jumlah penambahan SiC/p tersebut.

Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan metode penelitian dari mulai persiapan material, pembuatan material komposit sampai dengan pengujian-pengujian sifat fisis dan mekanisnya seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

1. Bahan baku :

- a. Ingot Aluminium yang digunakan adalah AA1100 yaitu aluminium yang termasuk kategori *wrought product*. Komposisi AA1100 adalah Al 99,0%, Si+Fe 1.0% max dan Cu 0,12% max. Produk dari PT. Krakatau Prima Dharma Sentana di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten.
- b. FeSi digunakan sebagai unsur pemadu yang disesuaikan jumlahnya dengan kebutuhan jenis paduan, dilebur bersama-sama dengan ingot Aluminium AA1100.

c. Bahan penguat serbuk partikel SiC yang memiliki berat jenis teoritis $3,2 \times 10^3 \text{ kgm}^3$.



Gbr 3. Ingot Al-AA1100



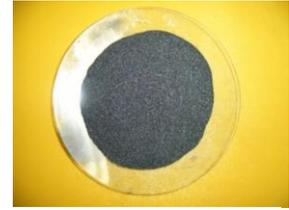
Gbr 4. Silikon Metal



Gbr 5. Serbuk SiC/p



Gbr 6. SiC Hasil Milling



Gbr 7. SiC Hasil Pengayakan

2. Perhitungan Material Balance

Sebelum pembuatan komposit matriks Al-Si (7,14%) yang diperkuat dengan partikel SiC, terlebih dahulu dilakukan perhitungan material balance, untuk memperkirakan berapa banyak bahan baku yang diperlukan. Pada percobaan setiap sample memerlukan 400 gram ingot Al-Si. Bila diinginkan penambahan serbuk SiC sebesar 10%, 20% dan 30% Vf, maka besarnya masing-masing serbuk SiC dapat diketahui dengan menggunakan persamaan, sebagai berikut :

$$V_f = \frac{\frac{M_p}{\rho_p}}{\frac{M_m}{\rho_m} + \frac{M_p}{\rho_p}} \times 100 \quad (1)$$

dimana :

V_f = Volume fraksi SiC, (%)

M_p = Berat serbuk SiC, (gr)

M_m = Berat matriks, (gr)

ρ_p = Berat jenis serbuk, (gr/cm^3)

ρ_m = Berat jenis matriks, (gr/cm^3)

3. Pengayakan Serbuk SiC

Penggerusan bahan SiC menggunakan mesin penggerus (*jaw crusher*) yang dilanjutkan dengan proses *milling* untuk mendapatkan ukuran kehalusan serbuk SiC sesuai dengan yang diinginkan setelah itu dilakukan proses pengayakan. Pengayakan tersebut bertujuan untuk mendapatkan ukuran serbuk ± 200 mesh.

4. Proses Pembuatan Komposit

Proses pembuatan komposit paduan Al-Si dengan penguat SiC/p, terdiri atas beberapa tahapan yaitu :

- Pemanasan serbuk SiC;
- Peleburan paduan Al-Si;
- Proses pengadukan dan
- Penuangan.

a. Pemanasan Serbuk SiC

Setelah serbuk SiC ditentukan ukurannya (200 mesh), selanjutnya dipanaskan pada temperatur 900°C dan ditahan selama 1 jam. Proses ini bertujuan untuk menghindari perbedaan temperatur antara serbuk SiC dan logam cair yang terlalu jauh (karena proses pendinginan serbuk lebih cepat dibanding logam cair maka pemanasan harus lebih tinggi dari logam cair).

b. Peleburan Paduan Al-Si

Proses peleburan merupakan bagian dari proses *stir casting* yang bertujuan untuk mencairkan paduan Al-Si. Proses ini dilakukan sebelum mengalami proses pencampuran dan pengadukan. Proses peleburan dilakukan pada temperatur 650°C selama 15 menit.

c. Proses Pengadukan

Proses ini merupakan proses pencampuran dan pengadukan antara logam cair dan serbuk yang berada dalam tungku pengaduk pada kondisi penahanan di atas temperatur cair logam, pada temperatur 650°C . Tujuan dilakukan proses ini adalah untuk mendapatkan distribusi endapan serbuk yang homogen di dalam matriks logam.

d. Penuangan

Proses penuangan pada proses *stir casting* dilakukan dengan tanpa menghentikan proses pengadukan logam cair. Sambil tetap diaduk, leburan paduan Al-Si dan serbuk SiC dikeluarkan lewat bagian bawah tungku pada temperatur 650°C dan dituangkan ke dalam cetakan logam besi tuang. Cetakan berbentuk silinder, diameter 20 mm, tinggi 300 mm dan tebal dinding cetakan 13 mm. Kemudian dilanjutkan dengan proses pendinginan dan pembongkaran.



Gbr 8. Komposit Al-Si (7,14%) SiC/p hasil coran

5. Pengujian Sifat Fisis dan Mekanis

a. Kekerasan

Pengujian kekerasan makro dengan metoda *Rockwell Cone* dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan material komposit. Pengujian kekerasan *Rockwell* menggunakan indentor *cone* (intan), pada beban (P) 150 kg selama 30 detik.

b. Ketahanan Aus

Pengujian ketahanan aus dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan aus material komposit. Prinsip pengujian didasarkan pada ukuran kekasaran kertas ampelas, jumlah putaran, dan beban yang diberikan.

Dari hasil pengujian, untuk mendapatkan nilai ketahanan aus dari benda uji diperoleh dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Kehilangan berat} = \frac{\text{Berat.awal} - \text{Berat.akhir}}{\text{Berat.awal}} \times 100\%$$

$$\text{Ketahanan aus} = \text{Berat awal} - \text{Kehilangan berat (dalam \%)}$$

c. Kekuatan Tarik

Untuk specimen uji tarik digunakan gauge dengan panjang $22,5 \times 10^{-3}$ m dan diameter $6,25 \times 10^{-3}$ m. Dari kurva uji tarik yang menunjukkan besarnya beban dan perubahan panjang, kemudian dapat dihitung :

Kekuatan tarik :

$$\sigma_t = \frac{F_{maks}}{A_o} \text{ (kgf/mm}^2, \text{ Mpa)} \quad (2)$$

Kekuatan luluh :

$$\sigma_y = \frac{F_{min}}{A_o} \text{ (kgf/mm}^2, \text{ Mpa)} \quad (3)$$

Regangan :

$$e = \frac{L_o - L_1}{L_o} \times 100 \% \text{ (\%)} \quad (4)$$

Dimana :

F maks = Gaya maksimum sampai patah

F min = Gaya minimum sebelum patah

Ao = Luas penampang mula
Lo = Panjang mula
L1 = Panjang setelah pengujian

5. Mikro Struktur

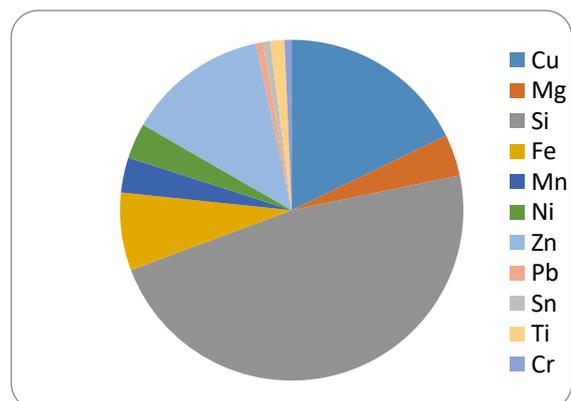
Sampel metalografi diamati untuk mengetahui distribusi serbuk penguat di dalam matriks, dengan etsa Nital 3% dan pebesaran 200x.

Hasil dan Pembahasan

1. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia yang dilakukan dari hasil peleburan Al-AA1100 dan pemadu Fe-Si, memperlihatkan material paduan Al-Si *hypoeutectic* seperti yang diinginkan. Gambar 9. memperlihatkan grafik hasil pengujian komposisi yang dilakukan dengan menggunakan spectrometer di PT. Krakatau Prima Dharma Sentana, di Kawasan Industri Krakatau, Cilegon, Banten.

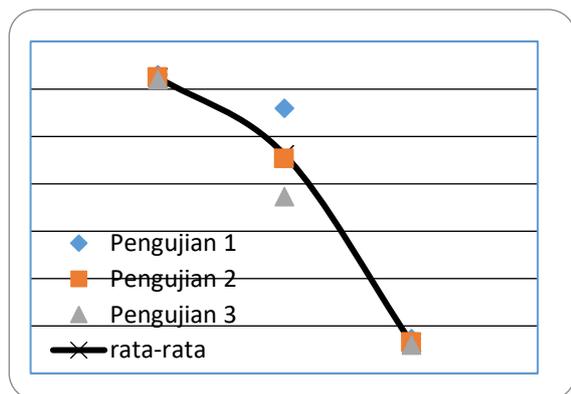
Pengujian komposisi kimia paduan Al-Si memperlihatkan kandungan unsur Cu dan Zn yang relatif besar (rata-rata 2,673% Cu dan 1,997% Zn), serta unsur Mg (0,589%) yang relatif rendah, mempengaruhi penyebaran partikel pada matriks logam yang merata sehingga menaikkan sifat mekanis material. Hal ini disebabkan karena Cu dan Zn dapat menekan titik pembekuan logam cair dan berakibat rendahnya konsentrasi gas hydrogen yang berada di dalamnya, sehingga mengurangi pengelompokan pengendapan partikel serta menaikkan kekerasan dan kekutan tarikannya.



Gambar 9. Grafik persentasi komposisi kimia Paduan hypoeutectic Al-Si

2. Pengujian Keausan

Dari hasil pengujian laju keausan, terlihat bahwa nilai keausan menurun seiring dengan meningkatnya penambahan fraksi volume. Grafik hasil pengujian keausan ditunjukkan pada Gambar 10, berikut ini :



Gambar 10. Grafik Pengaruh fraksi Volume partikel SiC terhadap Keausan

Penurunan nilai keausan dari material komposit Al-Si/SiCp, dengan bertambahnya volume fraksi SiC dapat dilihat pada Gambar 10. Dari hasil pengamatan struktur mikro persentase fraksi volume SiC terhadap keausan komposit, secara umum menunjukkan bahwa dengan bertambahnya fraksi volume partikel SiC, menyebabkan bertambahnya endapan partikel pada komposit sehingga akan meningkatkan kekerasan dan ketahanan ausnya.

3. Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan, terlihat bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan volume fraksi partikel SiC. Hasil pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 11.

Hasil pengujian kekerasan, menunjukkan adanya perubahan nilai kekerasan dengan bertambahnya fraksi volume partikel SiC. Dari grafik hubungan persen fraksi volume SiC terhadap kekerasan, secara umum menunjukkan bahwa dengan bertambahnya fraksi volume dari 10 s/d 30% partikel SiC pada waktu pengadukan 5 menit dengan kecepatan pengadukan 520 rpm, menunjukkan adanya peningkatan kekerasan. Hal ini disebabkan dengan bertambahnya persen fraksi volume, nilai PDN (*Particle Dispersion Number*) semakin bertambah, seperti ditunjukkan pada persamaan (5) :

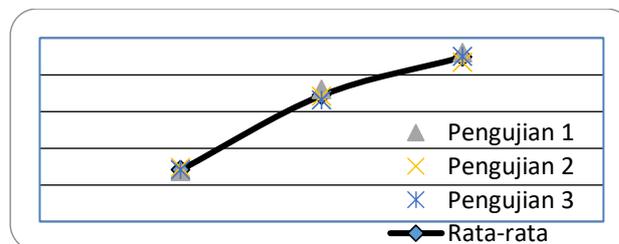
$$PDN = \frac{Ho(\eta\Omega)^{1/2}}{r_i^{1/4} \cdot d^{3/4} \cdot v_t} \quad (5)$$

- di mana :
- Ho = tinggi permukaan leburan (cm)
 - Ω = kecepatan pengadukan (rpm)
 - D = celah antara pengaduk dan dinding krusibel bagian dalam (cm)
 - r_1 = jari-jari alat pengaduk (cm)

v_t = kecepatan akhir pengendapan (cm/det.)

$$\eta = \eta_a = k (r)^m$$

Apabila harga PDN meningkat, maka dispersi partikel akan semakin bertambah dan homogen. Hal ini mengakibatkan nilai kekerasannya akan bertambah pula.

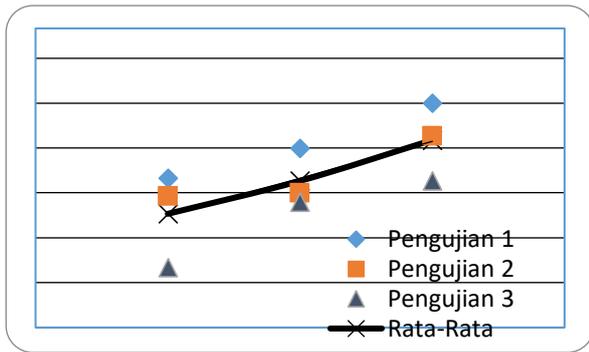


Gambar 11. Grafik Pengaruh fraksi Volume partikel SiC terhadap Kekerasan

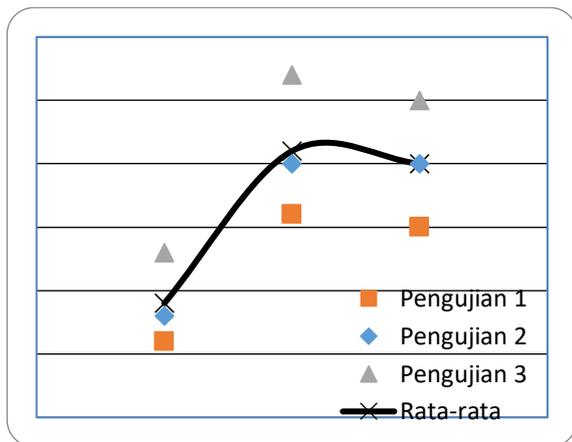
4. Pengujian Tarik

Dari data hasil pengujian tarik, diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum dan nilai kekuatan tarik minimum (kekuatan luluh) dari masing-masing sampel ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13. Dari hasil pengujian tarik terlihat bahwa nilai kekuatan tarik maksimum dengan waktu pengadukan 5 menit untuk masing-masing volume fraksi SiC/p (10 ; 20 dan 30%), meningkat dengan bertambahnya volume fraksi. Pertambahan jumlah fraksi volume partikel SiC sebesar 10%, 20% dan 30% pada komposit Al-Si akan menaikkan kekuatan tarik dan kekuatan luluh material komposit paduan *hypoticeutec* Al-Si.

Penambahan material keramik khususnya karbida (SiC/p) pada cairan aluminium akan membentuk fasa Al_4C_3 dan 3Si, dimana akan memperhalus butiran strukturnya dan menaikkan kekuatan tariknya. Berbeda dengan hasil pengujian kekuatan tarik yang kenaikannya signifikan dengan penambahan bahan penguat SiC/p, maka pada pengujian kekuatan luluh, nilai kekuatan luluh maksimal terjadi pada kondisi penambahan 20% partikel SiC. Gambar 13 memperlihatkan hal ini terlihat dari pengamatan struktur mikronya, dimana penambahan penguat 30% SiC akan menyebabkan terjadinya pengelompokan partikel SiC yang lebih besar disebabkan laju pergeseran yang menurun saat pemasukan ke dalam leburan dan menyebabkan kekuatan luluhnya menurun.



Gambar 12. Grafik Pengaruh fraksi Volume SiC terhadap Kekuatan Tarik

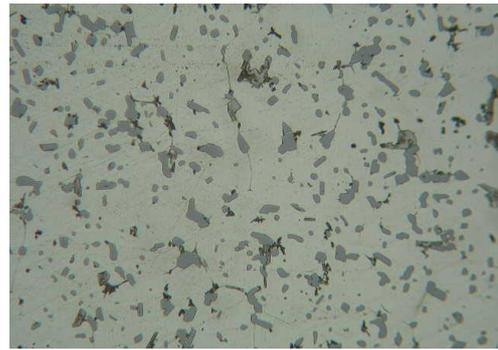


Gambar 13. Grafik Pengaruh fraksi Volume SiC terhadap Kekuatan Luluh

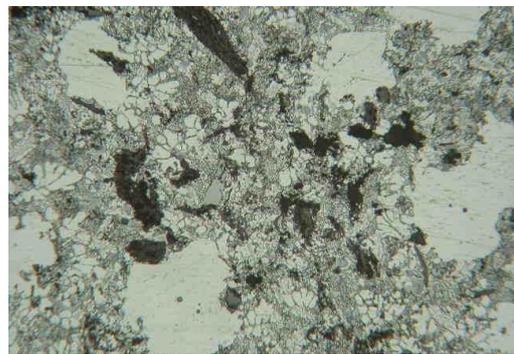
5. Hasil Pengamatan Metalografi

Dari hasil pengamatan metalografi, terlihat bahwa distribusi partikel penguat SiC terdispersi secara homogen. Gambar 14 sampai Gambar 17, menunjukkan contoh hasil pengamatan pada sampel dengan masing-masing volume fraksi SiC/p.

Fraksi volume yang ditambahkan ke dalam logam cair berpengaruh terhadap jumlah endapan partikel pada komposit hasil proses pengecoran dan menyebabkan terjadinya peningkatan sifat-sifat mekanisnya. Dari hasil pengamatan struktur mikro, dapat dilihat bahwa dengan penambahan fraksi volume partikel SiC yang meningkat, maka diperoleh suatu distribusi campuran yang relatif homogen dan perolehan penambahan persen endapan partikel SiC pada matriks paduan aluminium menjadi lebih banyak.



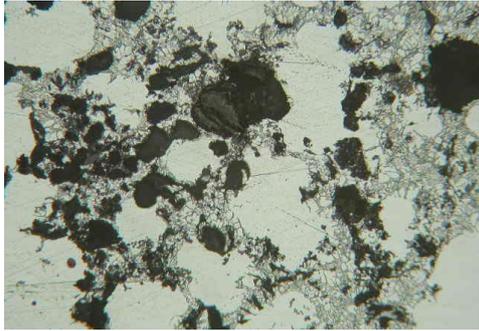
Gambar 14. Struktur mikro paduan Al-Si (7,14% Si) yang terdiri dari fasa α -Al dan struktur eutektik Al-Si



Gambar 15. Struktur mikro logam komposit matriks paduan Al-Si (7,14%Si) dengan penambahan 10% SiC.



Gambar 16. Struktur mikro logam komposit matriks paduan Al-Si (7,14%Si) dengan penambahan 20% SiC.



Gambar 17. Struktur mikro logam komposit matriks paduan Al-Si (7,14%Si) dengan penambahan 30% SiC.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian-pengujian sifat fisis dan mekanis yang telah dilakukan dari pengembangan paduan Al-Si *hypoeutectic* dengan fraksi volume partikel SiC sebesar 10%, 20%, dan 30%, menggunakan proses *stir casting* ini, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekerasannya meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan volume fraksi partikel SiC.
2. Nilai keausannya menurun, dan berbanding terbalik dengan meningkatnya penambahan fraksi volume partikel SiC.
3. Dari hasil pengujian tarik terlihat bahwa nilai kekuatan tarik maksimum dengan waktu pengadukan 5 menit untuk masing-masing volume fraksi SiC/p, meningkat dengan bertambahnya volume fraksi.
4. Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa distribusi partikel penguat SiC terdispersi secara homogen dan peningkatan jumlah pengendapan partikel signifikan dengan meningkatnya penambahan fraksi volume SiC.
5. Berdasarkan data-data tersebut di atas, material komposit ini mampu menggantikan beberapa komponen kendaraan bermotor yang terbuat dari material besi cor dan baja karbon tanpa perlakuan khusus, karena kelebihan material Al-Si(SiC/p) ini dalam hal ketahanan korosi, ringan, dan rendahnya kebutuhan energi dalam proses pembuatannya.

Referensi

- [1] Anne Zulfia Syahril, 2 April 2008, *Komposit Aluminium Sebagai Kandidat Material Untuk Komponen Otomotif Masa Depan Di Indonesia*, Pidato Pengukuhan Sebagai Guru Besar Dalam Bidang Ilmu Material Komposit, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

- [2] Ho J. Ryu, Kyung H. Chung, Seung I. Cha dan Soon H. Hong, Dec 2004, *Analysis of creep behavior of SiC/Al metal matrix composites based on a generalized shear-lag model*, J. Mater. Res., Vol. 19, No. 12
- [3] Gupta M, Surappa MK and Qin S, “*Effect of Interfacial Characteristics On The Failure-Mechanics Mode of AlSiC Reinforced Al Based Metal Matrix Composite*”, Jurnal of Materials Processing Technology No.67. 1997.
- [4] Froyen L. and Verlinden B, “ *Aluminium Metal Matrix Composite Material*”, Training In Application Technologies, 1994. p. 20-21.
- [5] Dutta B, Manikar S and Surappa MK, “*Solidification Studies In Aluminium Matrix Composite*”, In Organic Matrix Composite, The Minerals Metals and Materials Society, 1996.
- [6] A.Zulfia and R.J. Hand, 2002, *The Production of Al-Mg Alloys into SiC Preform in Production of Metal Matrix Composites*, Journal of Materials Science, vol 37. No. 5, pp. 955-961.
- [7] M.K. Surappa, February/April 2003, *Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities*, India, Sādhanā, vol 28, part 1 & 2
- [8] Sharon Kiesel, 2004, “*Metal Matrixs Composite with Continuous Fibres*”, MAE 589G Home work # 3, November.
- [9] Informasi dari <http://www.lanxide.com> (diakses pada tanggal 23 Juli 2009)