

PENGARUH KOMPOSISI Mg DAN SiC TERHADAP SIFAT KEKERASAN KOMPOSIT AISi-SiC YANG DIBUAT DENGAN PROSES SEMI SOLID STIR CASTING

Suyanto^{1*}, Sulardjaka², Sri Nugroho³

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto SH, Tembalang, Semarang 50275

*Email: suyantoeste@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan pada pembuatan AMC dengan proses pengecoran, yaitu sulitnya percampuran matriks Al cair dan partikel SiC, dispersi SiC yang tidak homogen, serta permukaan SiC yang tidak terbasahi oleh matriks cair. Al7Si digunakan sebagai bahan matriks, dan partikel SiC digunakan sebagai penguat dengan persentase 5%, 7,5%, dan 10%. Mg 1% ditambahkan untuk meningkatkan wettability. Semi solid stir casting dilakukan untuk mempermudah percampuran antara matriks dengan partikel penguat. Dengan metode tersebut, partikel SiC berhasil terdispersi secara merata dalam matriks Al7Si. Kekerasan meningkat seiring dengan penambahan persentase SiC. Kekerasan tertinggi sebesar 75,2 HRB dicapai dengan penambahan Mg 1% dan SiC 10%. Kekerasan meningkat 37% dibandingkan dengan kekerasan awal matriks Al7Si sebesar 55,1 HRB.

Kata kunci: AMC, kekerasan, SiC, stir casting

1. PENDAHULUAN

Komposit bermatrik aluminium atau dikenal dengan AMC (*Aluminum Matrix Composites*) adalah salah satu jenis material yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. Hal tersebut dikarenakan kombinasi sifat-sifatnya yang baik, seperti kekuatan dan kekerasan yang tinggi, masa jenis yang rendah, mampu *machining* yang baik, bahan dasar mudah didapatkan di pasaran, dan harga yang cukup terjangkau dan bersaing dengan material lain. Pada pemanfaatannya, AMC banyak digunakan dalam industri otomotif, penerbangan, pertahanan dan lain sebagainya. AMC banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan performa tinggi, seperti aplikasi dalam permesinan pesawat terbang, juga aplikasi dalam industri otomotif (Sahin dan Murphy, 1996).

Pembuatan AMC berpenguat SiC bertujuan untuk memadukan sifat mekanik antara Aluminium dan SiC. Aluminium (misal A356) mempunyai kelebihan diantaranya ringan (masa jenis 2,7 gram/cm³), tahan korosi, dan mampu tuang yang baik. Namun untuk aplikasi tertentu yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan, aluminium mempunyai sifat mekanik yang kurang mendukung, karena mempunyai kekerasan, kekuatan, dan kekakuan yang rendah, yaitu kekuatan tarik 255MPa, kekerasan 60 HB, dan modulus elastisitas 75,2 GPa (ASM Handbook Vol 2, 1990). Untuk meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan kekakuan aluminium, dilakukan dengan menambahkan partikel penguat berupa SiC, yang mempunyai spesifikasi masa jenis 3,2 gram/cm³, kekuatan luluh 600 MPa, kekerasan 2480 Knop (2170 HB) dan modulus elastisitas 400 GPa. Dengan pembuatan AMC yang baik melalui proses pengecoran, penambahan SiC dengan persentase tertentu, dan proses pencampuran yang baik dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh, sifat mekanik aluminium dapat ditingkatkan (Sharma dkk., 2011)

Proses pencampuran partikel keramik ke dalam matriks cair mempunyai dua kelemahan utama yaitu partikel keramik biasanya tidak terbasahi permukaannya oleh matriks cair, dan yang kedua adalah adanya kecenderungan partikel keramik untuk mengendap atau terapung, tergantung dari berat jenisnya apakah lebih besar atau lebih kecil dibanding matriks cair. Hal tersebut menyebabkan distribusi partikel keramik tidak seragam. Masalah tersebut dapat diatasi dengan proses cair *stir casting*, menggunakan pengadukan dengan putaran tinggi dan dengan pemanasan awal terhadap partikel keramik agar bisa terbasahi oleh matriks cair, sebelum dicampurkan ke dalam matriks. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan distribusi partikel keramik yang seragam dalam MMC (Stefanescu, 1993).

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan AMC dengan metode *semi solid stir casting* untuk mendapatkan sebaran partikel penguat berupa SiC yang homogen di dalam matriks Al7Si. Penambahan unsur paduan Mg dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap

wettability matrik Al7Si terhadap partikel SiC, serta persentase Mg yang bisa ditambahkan ke dalam matrik untuk mendapatkan *wettability* yang baik dan sifat mekanik yang diinginkan.

1.1 Metode Stir Casting

Metode *stir casting* pada logam cair atau metode *vortex* sangat menguntungkan untuk digunakan, karena bentuk *casting* yang dihasilkan hampir sama dengan produk akhir yang diinginkan, dan biaya produksi yang relatif rendah. Pada proses *stir casting*, partikel penguat yang biasanya berbentuk serbuk dimasukkan ke dalam aluminium cair, kemudian diaduk secara mekanik. Penggunaan *stir casting* untuk pembuatan MMC pertama kali diperkenalkan oleh S. Ray pada tahun 1968. Proses utama yang ditonjolkan berupa pengadukan secara mekanik yang dikenakan terhadap logam cair di dalam tungku. Matriks berupa aluminium cair yang sudah bercampur dengan partikel penguat kemudian dituang ke dalam cetakan. Jenis cetakan yang bisa dipakai adalah cetak tekan (*die casting*), cetakan pasir, atau cetakan permanen.

Pada metode *stir casting* parameter yang berpengaruh terhadap hasil coran adalah ukuran serbuk atau partikel keramik, kemampuan dan ukuran impeler pengaduk, temperatur logam cair, waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, kecepatan pemakanan partikel ke dalam campuran secara kontinyu dan dengan laju yang seragam, serta suhu cetakan (Seo dan Kang, 1995). Pada proses *stir casting* porositas harus dihindari. Cara yang bisa dilakukan adalah dengan pembuatan cetakan yang tepat, cara penuangan yang baik, dan pemanasan awal pada cetakan.

Lin dkk. (2010) melakukan pengecoran komposit AlSiC dengan teknik *stir casting* pada kondisi *semi solid* dengan menggunakan partikel penguat 10% SiC. *Aluminum Matrik Composites* dengan SiC 10% berhasil dibuat dengan dispersi SiC yang homogen dengan teknik pengadukan pada kondisi *semi solid*. Hashim dkk. (2001) memvariasikan teknik pengadukan dalam *stir casting*. Ada beberapa poin yang menjadi ketentuan dalam melakukan *stir casting*. Pengadukan mekanik diperlukan untuk meningkatkan *wettability*. Pengadukan pada kondisi cair sempurna mengakibatkan partikel penguat mengapung di permukaan matrik cair. Pengadukan pada kondisi *semi solid* bisa membantu penyatuan matrik dan penguat, namun harus dipanaskan lagi sampai suhu penuangan. Dalam penelitiannya Ghauri dkk. (2013) menyimpulkan bahwa *wettability* dan distribusi partikel SiC meningkat dengan *stir casting* kondisi *semi solid* dibanding dalam kondisi cair sempurna.

1.2 Partikel Penguat SiC

Silikon Karbida (SiC) adalah salah satu jenis bahan silikon yang termasuk dalam jenis non logam dan non mineral. Produk tersebut dihasilkan dari pengolahan pasir kwarsa (SiO_2) dan batubara antrasit atau kokas minyak bumi (C) pada suhu 1800 – 2000°C. Serbuk SiC ada yang berwarna hitam atau hijau tergantung dari bahan bakunya. Karena kekerasan yang tinggi serta konduktivitas termalnya yang baik, SiC biasanya dimanfaatkan untuk bahan abrasif, refraktori, komponen otomotif, penerbangan, dan bidang pertahanan. Dalam pembuatan komposit bermatriks aluminium, silikon karbida (SiC) merupakan jenis penguat diskontinyu untuk komposit bermatrik logam yang paling umum digunakan dewasa ini. Keuntungan menggunakan SiC sebagai partikel penguat adalah efektif untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, konduktivitas termal, ketahanan aus, ketahanan leleh, dan menurunkan ekspansi termal.

Ozben dkk. (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh partikel SiC dengan matriks AlSi7Mg2 terhadap sifat mekanik bahan. Persentase SiC yang digunakan adalah 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian adalah bahwa penambahan persentase SiC akan meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan dan ketangguhan. Kekuatan tarik akan meningkat pada penambahan SiC sampai 10%, dan kemudian menurun pada 15% SiC.

Penelitian untuk mengetahui kekerasan komposit Al-SiC telah beberapa kali dilakukan, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan Viswanatha dkk. (2013) dengan matriks aluminium A356 ditambah grafit sebanyak 3%. Kekerasan tanpa penambahan SiC, penambahan SiC 3%, 6%, dan 9% berturut-turut adalah 126 VHN, 134 VHN, 139 VHN, dan 143 VHN. Saheb (2011) melakukan penelitian dengan matriks Al-7,2Si. Dengan penambahan partikel SiC 5% dan 10% masing-masing menghasilkan kekerasan 26 BHN dan 40 BHN. Meena dkk. (2013) meneliti tentang

kekerasan komposit Al-SiC dengan matriks Al 6063. Dengan penambahan partikel SiC 5%, 10%, 15%, dan 20% , kekerasan yang diperoleh berturut-turut adalah 65 HRB, 69 HRB, 72 HRB, dan 78 HRB. Dari penelitian tersebut bisa disimpulkan bahwa kekerasan akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC dalam komposit.

1.3 Mg dan *Wettability*

Dalam bidang pengecoran material MMC, *wettability* partikel penguat oleh matriks paduan adalah parameter yang penting. *Wettability* didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk menyebar membasai permukaan material padat. Kontak yang bagus antar partikel keramik solid dengan matriks hasil pengecoran menandakan bahwa cairan bisa membasahi fasa padat partikel penguat. Permasalahan *wettability* tersebut disebabkan dua hal yaitu sifat kimia permukaan dan tegangan permukaan. Sifat kimia permukaan partikel meliputi kontaminasi maupun oksidasi. Namun partikel penguat sulit untuk dibasahi oleh logam cair. Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan *wettability* partikel, yaitu dengan penambahan elemen pengaktif permukaan ke dalam matriks, semisal unsur magnesium Mg, pelapisan atau oksidasi partikel keramik, pembersihan partikel, dan perlakuan *pre-heat* pada partikel.

Hashim dkk. (2001) meneliti tentang problem *wetability* antara partikel keramik sebagai penguat dengan aluminium cair pada MMC. Penelitian menggunakan bahan paduan A359 sebagai matriks, partikel SiC sebagai penguat, dan dengan menambahkan Mg sebagai *wetting agent*. *Stir casing* dilakukan selama proses peleburan. Hasil penelitian tersebut adalah bahwa penambahan Mg bisa meningkatkan *wetability* matrik A359 cair terhadap partikel SiC. Namun penambahan Mg melebihi 1% akan meningkatkan viskositas dan mengurangi kemampuan penyebaran partikel SiC. Mekanisme *stiring* diperlukan untuk meningkatkan *wetability*.

Penelitian tentang pengaruh Mg juga dilakukan oleh Zehraa dan Ameer (2013), dijelaskan bahwa penambahan unsur Mg dapat meningkatkan *wettability* antara matriks Al dan SiC. Hal tersebut bisa terjadi dengan mekanisme proses reduksi lapisan SiO₂ di permukaan SiC, sehingga lapisan oksida penghalang dipermukaan SiC bisa dieliminasi.

2. METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam pembuatan AMC pada penelitian ini adalah Al7Si sebagai matriks, partikel SiC dengan ukuran mesh 400 (37-40 μ m) sebagai penguat, serta Mg sebagai agen *wettability*. Adapun komposisi kimia masing-masing bahan seperti tercantum pada tabel 1 dibawah.

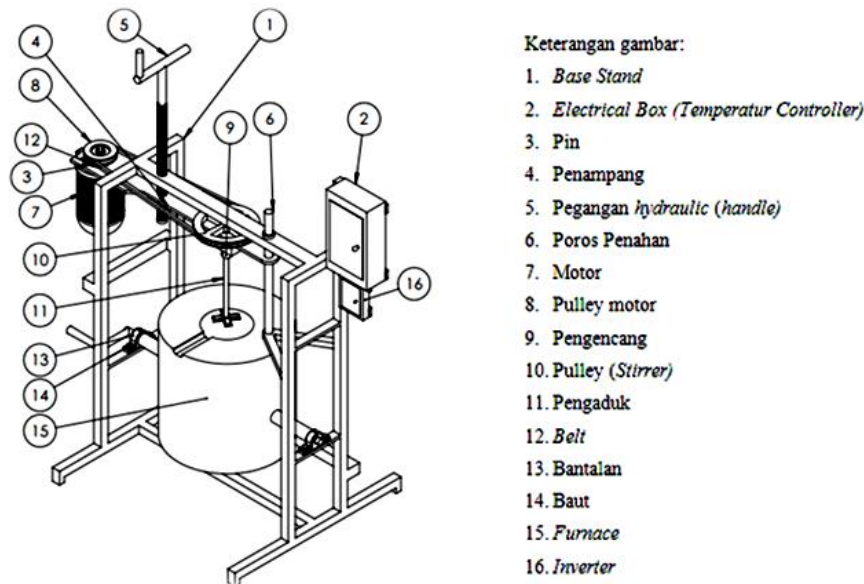
Tabel 1. Komposisi kimia bahan

Bahan	Komposisi Kimia (%)					
	Al	Si atau SiC	Fe	Mg	Mn	lainnya
Al7Si (ingot)	92,39	7,26	0,147	0,07	0,008	0,125
Mg (ingot)	0,022	0,013	0,003	99,93	0,012	0,02
SiC (serbuk)	0,03	98,6	0,1	0,03	-	1,24

Bahan matriks pada pembuatan AMC digunaka paduan Al7Si dan Al7Si1Mg yang dibuat dengan menambahkan 1% Mg kedalam paduan Al7Si yang dicairkan. Penambahan 1% Mg dilakukan untuk meningkatkan *wettability* matriks cair terhadap partikel SiC. Untuk partikel penguat digunakan serbuk SiC yang ditambahkan pada masing-masing matriks dengan variasi 5%, 7,5%, dan 10%.

Proses yang dilakukan adalah pertama melakukan persiapan bahan-bahan yang akan dilebur yaitu Al7Si ingot, dan Mg ingot. Bahan-bahan tersebut dipotong-potong dengan mesin potong sampai berukuran kecil. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam pengaturan komposisi dan proses peleburan. Masing-masing bahan ditimbang untuk mendapatkan komposisi massa sesuai dengan variasi. Disiapkan juga SiC dengan persen massa 5%, 7,5%, dan 10%. AlSi ingot dan Mg kemudian dimasukkan ke dalam tungku peleburan *stir casting* (gambar 1), dan dipanaskan sampai suhu 700°C untuk mencapai kondisi cair sempurna. Setelah itu didinginkan sampai suhu 590 °C untuk mencapai kondisi semi solid. Sementara itu SiC juga dipanaskan sampai suhu 500°C. Cetakan logam juga dipanaskan sampai suhu 200°C.

SiC yang sudah dipanaskan kemudian dimasukkan ke dalam tungku untuk dicampur dengan matrix semi solid. Pengadukan dengan stirrer dengan sudut *blade* 45° dengan kecepatan putar 600rpm dilakukan agar terjadi dispersi yang homogen dan permukaan SiC terbasahi dengan baik oleh matrik. Pengadukan dilakukan sambil suhu dinaikkan hingga suhu penuangan yaitu 850 °C. Kemudian dilanjutkan dengan penuangan pada cetakan yang sudah dipanaskan terlebih dahulu hingga 200°C. Pendinginan dilakukan pada suhu ruang.



Gambar 1. Tungku stir casting

Setelah hasil cor mencapai suhu ruang dan padat, baru dilepaskan dari cetakan. Kemudian bahan dipotong sesuai dengan ukuran spesimen pengujian. Pada pengujian densitas spesimen dipotong dengan ukuran 20mm x 20mm x 20mm. Kemudian dilakukan pengukuran densitas aktual dengan neraca densitas digital. Densitas teoritis ($\rho_{theoretical}$) dihitung dengan kaidah *rule of mixture* sebagai berikut :

$$\rho_{theoretical} = (\rho_{Al7Si} \times \%_{Al7Si}) + (\rho_{Mg} \times \%_{Mg}) + (\rho_{SiC} \times \%_{SiC}) \quad (1)$$

dimana ρ adalah masa jenis teoritis masing-masing bahan. Harga densitas aktual (ρ_{actual}) kemudian dibandingkan dengan densitas teoritis untuk mendapatkan nilai porositas dari hasil pengecoran, dengan persamaan sebagai berikut :

$$P(\% \text{ Vol}) = \frac{\rho_{theoretical} - \rho_{actual}}{\rho_{theoretical}} \times 100\% \quad (2)$$

dimana P adalah porositas dari hasil pengecoran.

Uji kekerasan Rockwell B (HRB) berpedoman pada standar ASTM E18-11. Pada pengujian ini spesimen dipotong dengan ukuran 2cm x 2cm x 2cm. Alat yang digunakan adalah alat uji kekerasan Rockwell HR-150A. Disiapkan 3 buah spesimen yang diambil dari bagian bawah, tengah, dan atas hasil cor. Spesimen yang sudah dipotong kemudian dihaluskan permukaannya dengan mesin poles. Setelah itu diujia kekerasannya dengan melakukan 3 kali penekanan indentor untuk tiap spesimennya.

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 100X untuk melihat struktur mikro matriks Al7Si dan Al7Si1Mg dan perbesaran 200X untuk melihat struktur mikro Komposit Al7Si+SiC dan Al7Si1Mg+SiC. Spesimen dipotong dengan dimensi 2cm x 2cm x 2 cm. Kemudian dilakukan pengamplasan permukaan dengan mesin amplas

menggunakan amplas nomor 80 hingga 2000 serta autosol. Pengetsaan dilakukan dengan cairan 1,5ml HNO₃, 2,5ml HCl, 1ml HF dan 95ml H₂O.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

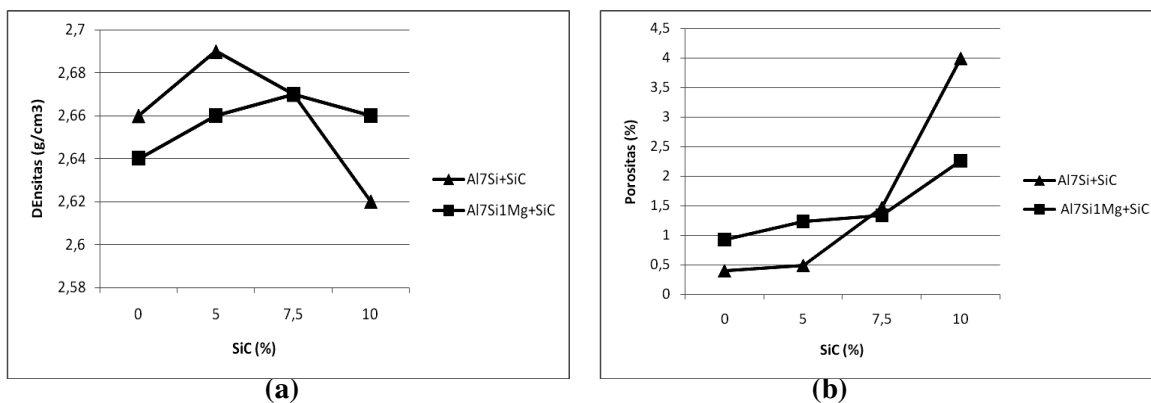
3.1 Densitas dan Porositas

Hasil pengujian densitas dan perhitungan porositas dari AMC dengan matriks Al7Si dan Al7Si1Mg yang diperkuat partikel SiC ditunjukkan pada tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Hasil uji densitas dan perhitungan porositas

Material	SiC (wt%)	ρ_{Aktual} (g/cm ³)	$\rho_{Teoritis}$ (g/cm ³)	Porositas (%)
Al7Si+SiC	0	2,66	2,67	0,4
	5	2,69	2,70	0,49
	7,5	2,67	2,71	1,47
	10	2,62	2,73	3,99
Al7Si1Mg+SiC	0	2,64	2,66	0,92
	5	2,66	2,69	1,23
	7,5	2,67	2,70	1,33
	10	2,66	2,72	2,26

Adapun grafik hubungan antara densitas dan tingkat porositas hasil pengecoran dengan persentase SiC ditunjukkan pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Grafik (a) densitas, (b) tingkat porositas komposit

Dari data diatas bisa dilihat bahwa untuk komposit bermatriks Al7Si densitasnya meningkat pada SiC 5% dan kemudian menurun, sementara porositasnya meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC. Pada komposit bermatriks Al7Si1Mg densitas mengalami peningkatan sampai kadar SiC 7,5% dan kemudian menurun pada SiC 10%. Sementara itu porositas sebesar 1,2% cenderung tetap sampai kadar SiC 7,5%, selanjutnya porositas meningkat menjadi 2,2% pada kadar SiC 10%.

Porositas yang terdapat pada hasil *stir casting* memang berpotensi untuk terjadi. Hal tersebut seperti hasil penelitian Hashim dkk. (1999) yang menyatakan bahwa potensi terjadinya porositas pada proses *stir casting* disebabkan oleh reaksi kimia antara partikel penguat dan matrix yang menghasilkan gas, serta gas yang terjebak selama proses pengadukan. Dengan demikian semakin banyak jumlah SiC akan semakin banyak gas hasil reaksi dan porositaspun cenderung akan naik.

Komposit dengan matriks Al7Si1Mg mempunyai porositas yang lebih rendah dibanding komposit bermatriks Al7Si. Penambahan Mg 1% mampu mengurangi porositas tersebut. Menurut Lin dkk. (2010) dengan adanya Mg akan mereduksi lapisan SiO₂ di permukaan SiC dan akan membentuk MgAl₂O₄ pada interface dengan *wettability* yang tinggi. Sehingga celah sebagai porositas yang terbentuk pada interface matriks dan partikel penguat akan hilang atau berkurang (Wang dkk., 2012).

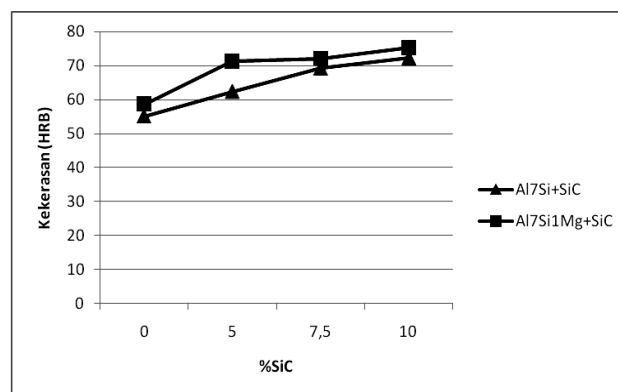
3.2 Kekerasan

Uji kekerasan Rockwel B (HRB) yang berpedoman pada standar ASTM E18-11 menghasilkan data kekerasan material yang disajikan pada tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Hasil uji densitas dan perhitungan porositas

Material	SiC (wt%)	Kekerasan (HRB)
Al7Si+SiC	0	55,1
	5	62,4
	7,5	69,3
	10	72,4
Al7Si1Mg+SiC	0	58,6
	5	71,3
	7,5	72,2
	10	75,4

Adapun grafik hubungan antara kekerasan hasil pengecoran dengan persentase SiC ditunjukkan pada gambar 3 di bawah ini:



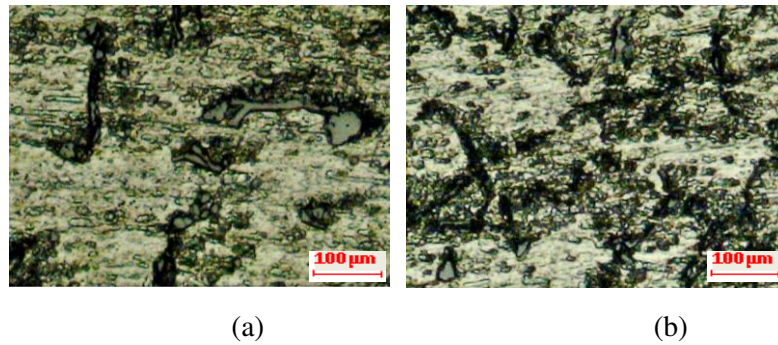
Gambar 3. Grafik kekerasan komposit

Dari data diatas bisa dilihat bahwa kekerasan komposit meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC. Hasil ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Saheb (2011), Meena dkk. (2013), dan Viswanatha dkk. (2013). Kekerasan tertinggi dicapai pada persentase SiC 10% . Pada komposit bermatriks Al7Si kekerasan tertingginya adalah 72,4 HRB atau meningkat 31% dari kekerasan material awal. Untuk komposit bermatriks Al7Si1Mg kekerasan tertinggi yang dicapai adalah 75,4 HRB atau meningkat 37% dari kekerasan material awal.

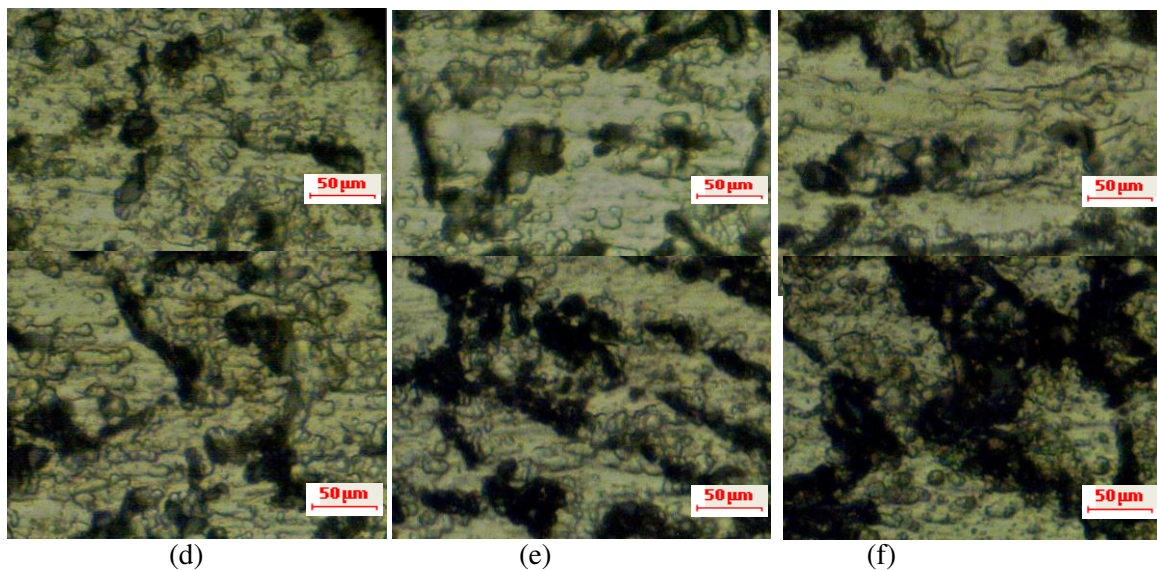
Penambahan Mg 1% mampu meningkatkan kekerasan matriks maupun komposit yang dihasilkan. Rata-rata kekerasan komposit meningkat sebesar 7% setelah ada penambahan Mg. Kekerasan komposit meningkat karena Mg berfungsi sebagai *wetting agent*, yaitu bahwa unsur Mg mampu meningkatkan *wettability* matriks Al7Si terhadap partikel SiC. Hal tersebut seperti hasil penelitian Zehraa dan Ameer (2013) yang menyatakan bahwa peningkatan *wettability* bisa terjadi dengan mekanisme proses reduksi lapisan SiO₂ di permukaan SiC, sehingga lapisan oksida penghalang dipermukaan SiC bisa dieliminasi.

3.3 Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 100X menghasilkan foto mikro matriks Al7Si dan Al7Si1Mg ((gambar 4) dan perbesaran 200X untuk komposit dengan partikel penguat SiC (gambar 5).



Gambar 4. Foto mikro matriks (a) Al7Si (b) Al7Si1Mg



Gambar 5. Foto mikro komposit (a) Al7Si-SiC 5% (b) Al7Si-SiC 7,5% (c) Al7Si-SiC 10% (d) Al7Si1Mg-SiC 5% (e) Al7Si1Mg-SiC 7,5% (f) Al7Si1Mg-SiC 10%

Pada gambar 4 matriks Al7Si terlihat abu-abu dengan bagian berbentuk bulat adalah Si. Sedangkan pada matriks Al7Si1Mg terdapat bagian dengan warna hitam pada batas butir yang merupakan unsur Mg. Pada gambar 5 terlihat bahwa semakin besar kadar SiC dalam komposit maka semakin banyak SiC yang terikat dalam matriks. SiC tampak berbentuk bulat tak beraturan dengan warna abu-abu. Pada komposit dengan matriks Al7Si1Mg, terlihat Mg berada di sekeliling partikel SiC, dan berfungsi untuk meningkatkan wettability matriks terhadap SiC. Partikel SiC terdispersi secara acak dan relatif merata dalam matriks Al7Si maupun Al7Si1Mg. Hal ini sesuai dengan penelitian Hashim dkk (2001) dan Lin dkk (2010) yang menyatakan bahwa dengan *semi solid stir casting* akan membantu meningkatkan *wettability* dan dispersi partikel penguat secara homogen.

4. KESIMPULAN

Dari data yang diperoleh dalam penelitian ini dengan pengujian densitas dan porositas, pengujian kekerasan, serta pengujian struktur mikro didapatkan beberapa keimpulan yaitu:

- (1) Kekerasan komposit bermatriks aluminium akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC
- (2) Porositas akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC dalam matriks aluminium.
- (3) Dengan penambahan 1% Mg mampu meningkatkan wettability matriks aluminium terhadap partikel SiC, kekerasan meningkat, dan porositas menurun.
- (4) Dispersi partikel SiC yang homogen dalam matriks aluminium mampu dicapai dengan teknik pengecoran *semi solid stir casting*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Ditlitabmas Dikti) Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah mendanai kegiatan penelitian ini melalui skim dana penelitian Hibah Tim Pascasarjana tahun 2014 melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Diponegoro Nomor DIPA – 023.04.02.189185/2013 tanggal 05 Desember 2013

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol 2, (1990), *Properties and Selection Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials*, ASM International.
- ASTM E18-11, (2012), *Standard Test Method for Rockwell Hardness of Metallic Materials*.
- Ghauri, M.K., Ali, L., Ahmad, A., Ahmad, R., (2013), Synthesis and Characterization of Al/ SiC Composites made by Stir Casting Method, *Pak. J. Engg & Appl. Sci.*, 12, pp. 102-110.
- Hashim, J., Looney, L., Hashmi, MSJ., (1999), Metal Matrix Composites: Production by The Stir Casting Method, *Journal of Material Processing Technology*, 92-93, pp. 1-7.
- Hashim, J., Looney, L., Hashmi, MSJ., (2001), The Wettability of SiC Particle in Cast Aluminium Matrix Composites, *Journal of Material Processing Technology*, 119, pp. 329-335.
- Lin, G., Hongwei, Z., Hoaze, Li., Lina, G., (2010), Effect of Mg Content on Microstructure and Mechanical Properties of SiCp/ Al-Mg Composites Fabricated by Semi Solid Stirring Technique, *Trans Nonferrous et. Soc.*, 20, pp. 1851-1885.
- Meena, K.L., Manna, A., Banwait, S.S., (2013), An Analysis of Mechanical Properties of The Developed Al/SiC-MMC, *American Journal of Mechanical Engineering*, 1, pp. 14-19.
- Ozben, T., Kilickap, E., Cakir, O., (2008), Investigation Mechanical and Machinability Properties of SiC Particle Reinforced Al-MMC, *Journal of Materials Processing Technology*, 1, pp.220-225.
- Saheb, D.A. , (2011), Aluminum Silicon Carbide and Aluminum Graphite Particulate Composites, *Journal of Engineering and Applied Science*, 6, pp. 41-46.
- Sahin Y. dan Murphy, S., (1996), The Effect of Fibre Orientation of The Dry Sliding Wear of Borsic Reinforced Aluminium Alloy, *S. Mater Sci*, 34, pp.5399-5407.
- Sharma, P., Chauhan, G., Sharma, N., (2011), Production of AMC by Stir Casting An Overview, *International Journal of Contemporary Practices*, 2, pp. 23-26.
- Soe, Y.H. dan Kang, C.G., (1995), The Effect of Applied Pressure on Particle Dispersion Characteristic and Mechanical Properties in Melt Stiring Squeeze Cast SiC/Al Composites, *J. Mater Process, Technol*, 55, pp.370-379.
- Stefanescu D.M., in : M.A. Taha. N.A. El-Mahallawy (Eds), (1993), Advances in Metal Matrix Composites, *Key Engineering Materials*, 79-80, pp. 75-90.
- Viswanatha, BM., Kumar, P.M., Basavarajappa, S., (2013), Mechanical Properties Evaluation of A356/SiCp/Gr Metal Matrix Composites, *Journal of Engineering Science and Technology*, 8, pp. 754-763.
- Wang, X.J., Nie, K.B., Sa, X.J., Hu, X.S., Wu, K., Zheng, M.Y., (2012), Microstructure and Mechanical Properties of SiCp/Mg Zn Ca Composites Fabricated by Stir Casting, *Materials Science and Engineering*, A 534, 60-67.
- Zehraa N. dan Ameer, A., (2013), Studying Some of Mechanical and Thermal Properties of Al-SiC composites, *Journal of Al-Nahrain University*, 16 , pp.119-123.