

## PENGARUH TiB TERHADAP KEKERASAN KOMPOSIT AlSiMg YANG DIPERKUAT SERBUK SiC

Lilin Hermawati<sup>1\*</sup>, Sulardjaka<sup>2</sup>, Sri Nugroho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto SH, Tembalang, Semarang 50275

\*Email: linhermawati80@gmail.com

### Abstrak

Aluminium merupakan salah satu logam yang banyak digunakan dalam industry. Aluminium memiliki sifat ringan, tahan terhadap korosi dan mudah dibentuk. Namun aluminium memiliki kekerasan yang rendah. Metode Metal Matrix Composite (MMC) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik suatu logam. SiC merupakan bahan yang banyak dipergunakan sebagai penguat. SiC memiliki kelebihan dibanding material keramik lainnya, yaitu mudah berikatan dengan aluminium dan tidak menyebabkan oksidasi pada logam aluminium. Penelitian ini meneliti pengaruh persen berat TiB 0,5%, 1%, 1,5% dan aluminium yang diperkuat SiC 5%. Untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis pada komposit AlSiMg-TiB-SiC dilakukan beberapa pengujian, yaitu uji densitas, porositas, kekerasan dan struktur mikro. Perhitungan porositas menunjukkan nilai porositas tertinggi terdapat pada persen berat SiC 0,5% sebesar 4,97%. Hasil uji kekerasan tertinggi pada persen berat SiC 1,5% sebesar 78.39 HRB Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanis meningkat seiring dengan peningkatan persentase serbuk TiB sampai 1,5%

**Kata Kunci :** Metal Matrix Composite, Pengadukan semisolid, Stir Casting, Wettability

### 1. PENDAHULUAN

Pengembangan komposit matriks logam atau sering dikenal dengan MMC (Metal Matrix Composites) dalam cakupan ilmu pengetahuan, teknologi, dan keperluan komersial merupakan kebutuhan yang penting, terutama dalam akhir – akhir ini. MMC memadukan sifat mekanik matriks paduan (ulet dan tangguh) dengan sifat partikel keramik sebagai penguat (kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi). 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, maka dalam penelitian mempergunakan *stir casting semi solid* yang bertujuan untuk matriks yang berupa aluminium akan mudah bercampur dengan SiC sehingga menghasilkan komposit yang baik dengan penyebaran SiC yang merata dan homogen. (Soe dan Kang, 1995)

Pada penelitian Ozben dkk, 2008 dengan matriks yang dipergunakan AlSi7Mg2 dengan berat SiC 5%-15% hasil yang diperoleh kekerasan 98HB pada 15% SiC meningkat 48%, kekuatan tariknya 10% SiC sebesar 280MPa, menurun pada 15% SiC. Viswanatha dkk, 2013 dengan matriks A356, SiC dan Graphit dengan berat SiC 0-9% hasil kekerasannya maksimal pada 9% SiC sebesar 144VHN, kekerasannya meningkat dan elongasi menurun. Meen dkk, 2013 dengan matriks Al6062 berat SiC 5%, 10%, 15%, 20% hasil yang diperoleh kekerasan tertinggi pada 20% SiC yaitu 83 HRB. Das, 2004 dengan matriks 98,41% berat SiC 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% hasil yang didapat kekerasan terbaik pada persentase SiC 25% yaitu 45,5 BHN

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. Pada penambahan unsur paduan TiB dipergunakan sebagai grain refinement ( penghalus butir ). Dikarenakan sifat tersebut maka dalam pembuatan komposit ini supaya dapat meningkatkan nilai kekerasan dan semakin ulet suatu logam karena adanya perambatan dislokasi yang terjadi bila butir semakin kecil maka semakin sulit untuk bergerak ke permukaan dan perambatan terak tidak terjadi sehingga logam menjadi semakin ulet , serta dilakukan penambahan Mg 1% untuk mengetahui pengaruhnya terhadap *wettability* matriks Al7Si terhadap partikel SiC, serta persentase Mg yang

bisa ditambahkan ke dalam matrik untuk mendapatkan *wettability* yang baik dan sifat mekanik yang diinginkan.

## 2. PEMILIHAN MARETIAL

### 2.1. Partikel Penguat SiC

Pada penelitian ini mempergunakan Silikon Karbida (SiC). Dikarenakan memilih komposisi ini beberapa kelebihan seperti ringan, tahan korosi dan warna yang menarik serta komposisi Si 6% dan Al 94%. Serta menggunakan SiC karena memiliki sifat mekanik yang baik dan mudah dicari serta tidak menyebabkan oksidasi pada logam dengan mesh yang dipergunakan 400 diperoleh pada PT Brata Cem. Serbuk SiC juga ada yang berwarna hitam atau hijau tergantung dari bahan bakunya. Karena memiliki sifat kekerasan yang tinggi serta konduktivitas termalnya yang baik, SiC sering dipergunakan untuk bahan komponen otomotif, penerbangan, dan bidang pertahanan. Keuntungan menggunakan SiC sebagai partikel penguat adalah efektif untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan, konduktivitas termal, ketahanan aus, ketahanan leleh, dan menurunkan ekspansi termal.

Dari beberapa penelitian yang sudah ada menerangkan tentang penambahan SiC sebagai penguat diantaranya Ozben dkk (2008) melakukan penelitian tentang pengaruh partikel SiC dengan matriks AlSi7Mg2 terhadap sifat mekanik bahan. Persentase SiC menggunakan variasi berat 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian adalah bahwa penambahan persentase SiC meningkatkan sifat mekanik seperti kekerasan dan ketangguhan. Sedangkan pada Kekuatan tarik akan meningkat pada penambahan SiC sampai 10%, dan kemudian menurun pada 15% SiCp

### 2.2. Mg dan *Wettability*

Dalam pembuatan komposit ini menggunakan unsur Mg yang berfungsi meningkatkan *wettability* matrik terhadap partikel SiC. Mengapa fungsinya untuk meningkatkan *wettability* yang diambil karena kemampuan suatu cairan untuk membasahi seluruh permukaan zat padat, yang akan berefek pada peningkatan kekuatan ikatan matrik dan partikel penguat SiC. Sehingga sifat mekanik yang dihasilkan juga akan meningkat. Dalam bidang pengecoran material MMC, *wettability* partikel penguat oleh matriks paduan adalah parameter yang penting. 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*.

### 2.3. Super Alloy AlTiB

AlTiB (*Aluminium Titanium Boron*) didapatkan PT. Makmur Meta Graha, Surabaya berbentuk silinder tipis. Merupakan logam paduan yang dipergunakan sebagai *grain refinement* (penghalus butir). Karena fungsinya tersebut maka dalam pembuatan komposit ini supaya dapat meningkatkan nilai kekerasan dan keuletan logam yang dipadukan dengan AlTiB. Disebabkan adanya dislokasi yang terjadi bila butir semakin kecil maka semakin sulit untuk bergerak kepermukaan dan perambatan retak tidak terjadi sehingga logam menjadi semakin ulet.

Li Jian-gua, 2006 meneliti pada AlTiC dan AlTiB dengan variasi 0.2%, 0.5%, 1% mendapat hasil bahwa pada penambahan TiB 1% ukuran butir semakin kecil. Mondal.D.P, 2012 mempergunakan Al7178 dengan variasi TiB 1%, 2%, 3%, 4% mendapatkan hasil bahwa pada

penambahan TiB antara 1% sampai 4% butirnya mengalami penurunan dengan signifikan pada penambahan TiB 1% adalah 140 mikrometer menjadi 55 mikrometer. Wang.T, dkk 2012 mempergunakan master alloys AlTiB dengan variasi 0,03% sampai 0,15% dengan hasil penelitiannya adalah ukuran butir terkecil adalah 50 mikrometer, dicapai pada 0,13% TiB.

#### 2.4. Metode Stir Casting

Proses yang dilakukan adalah pertama melakukan persiapan bahan-bahan yang akan dilebur yaitu Al ingot, Mg, dan Al-TiB. Bahan-bahan tersebut dipotong-potong dengan mesin potong sampai berukuran kecil berdiameter sekitar 2 cm. Hal ini dilakukan untuk memudahkan dalam pengaturan komposisi dan proses peleburan. Masing-masing bahan ditimbang untuk mendapatkan komposisi massa Mg 1% dan Al-TiB 0, 5%, 1%, 1,5%. Disiapkan juga SiC dengan persen massa 5%. Al ingot, Mg, dan Al-TiB kemudian dimasukkan ke dalam tungku peleburan, dan dipanaskan sampai suhu 700°C. Kemudian didinginkan sampai semi solid 590°C Sementara itu SiC juga dipanaskan pada tempat terpisah sampai suhu 700°C. Cetakan logam juga dipanaskan dengan elemen pemanas sampai suhu 200°C.

Matriks cair setelah sempurna pada suhu 700°C, SiC yang sudah dipanaskan kemudian dimasukkan ke dalam tungku untuk dicampur dengan matriks cair. Pengadukan dengan stir casting dilakukan agar terjadi dispersi yang homogen dan permukaan SiC terbasahi dengan baik oleh matriks cair sampai suhu 850°C, kemudian bila komposit sudah siap untuk dituang pada cetakan yang sudah dipanaskan terlebih dahulu dengan suhu tuang 850°C

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini bahan yang dipergunakan pada komposit MMC terhadap penelitian ini berupa aluminium A356 (Al7Si) yang diperoleh dari PT. Pinjaya Logam. Pemilihan bahan yang dilakukan dengan cara survey untuk mendapat aluminium yang cocok pada pembuatan komposit. Dikarenakan memilih komposisi ini beberapa kelebihan seperti ringan, tahan korosi dan warna yang menarik serta komposisi Si 6% dan Al 94%. Partikel SiC dengan ukuran mesh 400 (37-40µm) sebagai penguat, Mg sebagai agen *wettability*, serta TiB sebagai *grain refinement*. Adapun komposisi kimia masing-masing bahan seperti tercantum pada tabel dibawah.

**Tabel 1. Komposisi kimia bahan**

Bahan	Al	Si atau SiC	Fe	Mg	Mn	Komposisi Kimia (%)		
						Ti	B	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%
TiB (ingot)	93,70%	0,16%	0,16%	-	-	5%	0,98%	-

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. Proses yang dilakukan adalah pertama melakukan persiapan bahan-bahan yang akan dilebur yaitu Al7Si ingot, dan Mg ingot serta penambahan TiB dengan variasi berat 0,5%, 1%, 1,5%. Disiapkan juga SiC dengan persen massa 5%. AlSi ingot dan Mg kemudian dimasukkan ke dalam tungku peleburan, 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 stir dengan sudut *blade* 45° dengan kecepatan putar 600rpm dilakukan agar terjadi dispersi yang homogen dan permukaan SiC terbasahi dengan baik oleh matriks. 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.

Kemudian hasil pengecoran dilepaskan dari cetakan. Setelah itu bahan dipotong sesuai dengan ukuran spesimen pengujian. Pada pengujian densitas spesimen dipotong dengan ukuran 20mm x 20mm x 20mm. Pengukuran densitas aktual dengan neraca densitas digital. Pengujian densitas dilakukan berdasarkan hukum *Archimedes* dengan cara menimbang sampel uji di udara dan didalam air. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan densitas teoritis menggunakan persamaan sebagai berikut :

Densitas Aktual

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \quad (1)$$

keterangan :

- $\rho_m$  : densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)
- $m_s$  : massa sampel kering (gram)
- $m_g$  : massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- $\rho_{H_2O}$  : massa jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup>

Densitas teoritis

$$\rho_{th} = V_{fAl} \cdot \rho_{Al} + V_{fMg} \cdot \rho_{Mg} + V_{fTiB} \cdot \rho_{TiB} + V_{fSiC} \cdot \rho_{SiC} \quad (2)$$

keterangan :

- $\rho_{th}$  : densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{Al}$  : densitas Al (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{Mg}$  : densitas Mg (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{TiB}$  : densitas TiB (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{SiC}$  : densitas SiC (gram/cm<sup>3</sup>)
- $V_{fAl}$  : fraksi massa Al (gram)
- $V_{fMg}$  : fraksi massa Mg (gram)
- $V_{fTiB}$  : fraksi massa TiB (gram)
- $V_{fSiC}$  : fraksi massa SiC (gram)

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

$$P = \frac{\rho_{teoritis} - \rho_{aktual}}{\rho_{teoritis}} \times 100\% \quad (3)$$

dimana  $P$  adalah porositas dari hasil pengecoran.

Uji kekerasan Rockwel B (HRB) berpedoman pada standar ASTM Vol2 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 diuji kekerasannya dengan melakukan 3 kali penekanan indentor untuk tiap spesimennya.

Pada pengujian struktur mikro menggunakan alat mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 100x dan 250x. Spesimen dipotong dengan dimensi 2cm x 2cm x 2 cm. Kemudian dilakukan pemolesan permukaan dengan mesin poles menggunakan amplas nomor 80 hingga 2000 serta autosol. Pengetsaan dilakukan dengan cairan 1,5ml NaOH3, 2,5ml HCl, 1ml HF dan 95ml H2O.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Densitas dan Porositas**

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

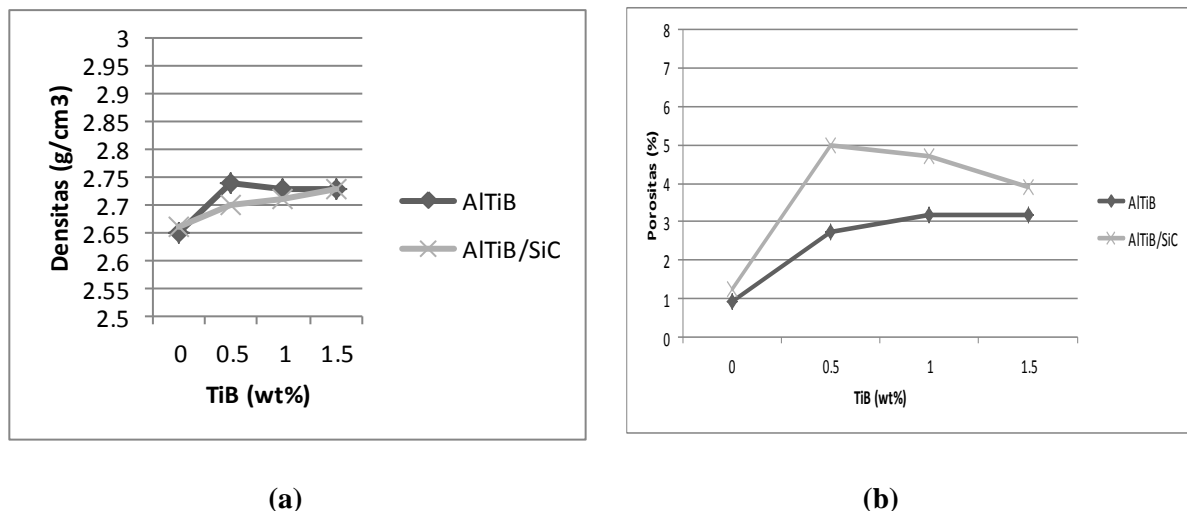
**Tabel 2. Hasil uji densitas AlTiB dan AlTiB/SiC**

AlTiB	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	AlTiB/SiC	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
Al7Si1Mg	2,65	Al7Si1Mg +SiC 5%	2,66
Al7Si1Mg0,5TiB	2,74	Al7Si1Mg0,5TiB + SiC 5%	2,70
Al7Si1Mg1TiB	2,73	Al7Si1Mg1TiB + SiC 5%	2,71
Al7Si1Mg1,5TiB	2,73	Al7Si1Mg1,5TiB + SiC 5%	2,73

**Tabel 3. Hasil uji porositas matriks dan komposit**

AlTiB	Porositas (%)	AlTiB/SiC	Porositas (%)
Al7Si1Mg	0,92	Al7Si1Mg +SiC 5%	1,23
Al7Si1Mg0,5TiB	2,75	Al7Si1Mg0,5TiB + SiC 5%	4,97
Al7Si1Mg1TiB	3,17	Al7Si1Mg1TiB + SiC 5%	4,70
Al7Si1Mg1,5TiB	3,16	Al7Si1Mg1,5TiB + SiC 5%	3,90

Adapun grafik hubungan antara densitas dan tingkat porositas hasil pengecoran dengan persentase TiB ditunjukkan pada Gambar 1:



**Gambar 1. Grafik (a) densitas AlTiB dan AlTiB/SiC, (b) tingkat porositas AlTiB dan AlTiB/SiC**

Dari data dapat disimpulkan bahwa untuk matrik mengalami peningkatan pada penambahan Tib 0,5% dan pada penambahan TiB 1% dan 1,5% mengalami kecenderungan tetap. Tetapi pada komposit densitasnya meningkat seiring dengan peningkatan variasi berat TiB antara 0,5%, 1%, 1,5%, sementara porositasnya meningkat seiring dengan peningkatan kadar SiC akan tetapi pada penambahan TiB antara 0,5%, 1%, 1,5% mengalami penurunan pada prositas kompositnya. Begitu pula pada matriknya juga mengalami kenaikan akan tetapi pada penambahan TiB antara 0,5%, 1%, 1,5% mengalami penurunan.

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

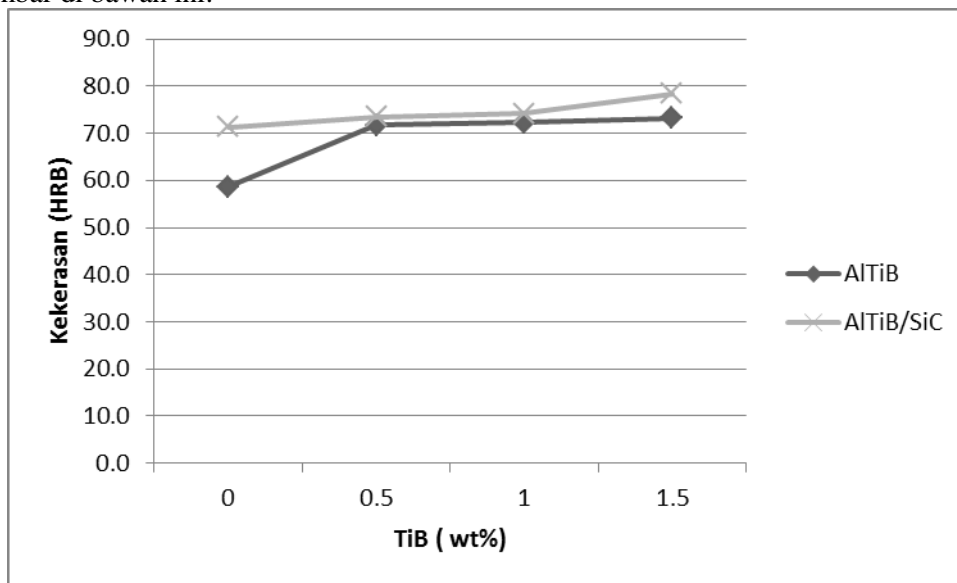
### 4.2. Kekerasan

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

**Tabel 4. Hasil pengujian kekerasan AlTiB dan AlTiB/SiC**

Matriks	Kekerasan ( HRB )	Komposit	Kekerasan ( HRB )
Al7Si1Mg	58,6	Al7Si1Mg +SiC 5%	71,3
Al7Si1Mg0,5TiB	71,7	Al7Si1Mg0,5TiB + SiC 5%	73,4
Al7Si1Mg1TiB	72,2	Al7Si1Mg1TiB + SiC 5%	74,1
Al7Si1Mg1,5TiB	73,2	Al7Si1Mg1,5TiB + SiC 5%	78,4

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

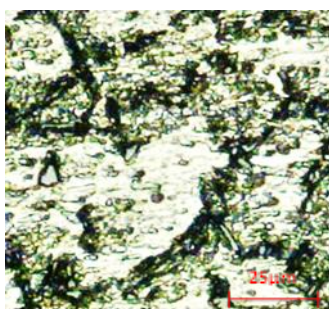


**Gambar 2. Grafik kekerasan**

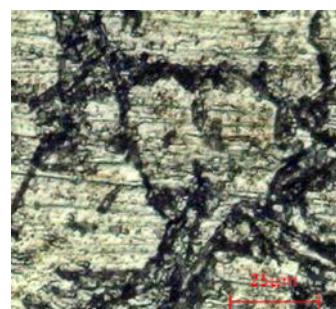
Dari data diatas bisa dilihat bahwa kekerasan komposit meningkat seiring dengan peningkatan kadar TiB dari 0,5% , 1% , 1,5% dari 73,4 HRB sampai 78,4 HRB .

### 4.3. Struktur Mikro

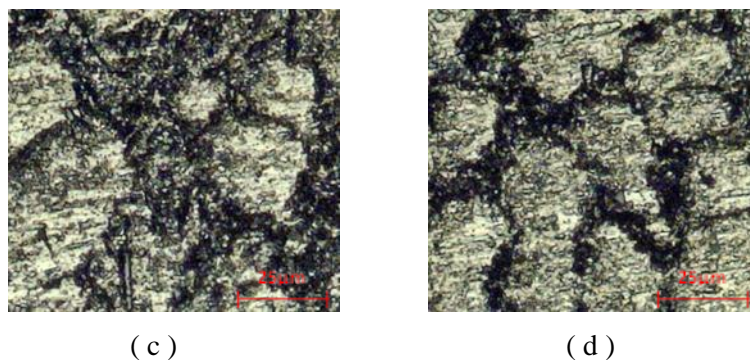
Pengujian struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik Olympus dengan perbesaran 100X dan 250X . Hasil foto mikro ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4



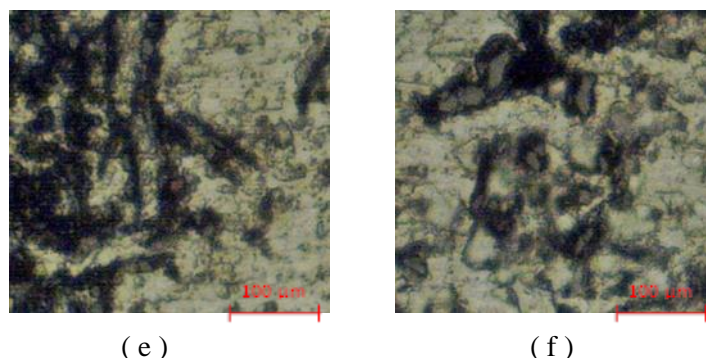
( a )



( b )



**Gambar 3. Foto mikro matrik dengan variasi TiB ( a ) 0%, ( b ) 0,5%, ( c ) 1%, ( d ) 1,5%.**



**Gambar 4. Foto mikro ( e ) matrik AlSiMgTiB, ( f ) komposit AlSiMgTiB+SiC 5%.**

Gambar 3 (a), (b), (c), dan (d) berturut-turut adalah matrik dengan partikel penambahan TiB 0%, 0,5%, 1% dan 1,5%. Bisa dilihat bahwa semakin meningkat kadar TiB dapat terlihat pada foto mikro. Gambar 4 (e), (f) dapat terlihat bahwa SiC tampak pada gambar ( f ) sebagai partikel berwarna keabuan, yang dikelilingi oleh Mg dengan warna hitam, sedangkan pada TiB bercampur dengan matriknya sebagai pengintian dan penghalus butir. Dengan demikian hasil penelitian 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.

## 5. KESIMPULAN

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

- (1) Kekerasan komposit bermatriks aluminium akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar TiB 1.5% dan penambahan SiC 5%
- (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 – 023.04.02.189185/2014 tanggal 05 Desember 2013

**DAFTAR PUSTAKA**

- ASM Handbook Vol 2, (1990), *Properties and Selection Nonferrous Alloy and Special-Purpose Materials*, ASM International.
- 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, Geng., Hongwei, Zhang., 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, KL., Manna, A., Banwait, SS., (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.
- Soe, Y.H., 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.
- Viswanatha, BM., Prasanna Kumar, 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 T., Fu W., Chen Z., Xu Jun, Zhu Jing, Cao Fei, Li Tingju, 2012, "A Novel Fading Resistant Al-3Ti-3B Grain Refiner for Al-Si Alloy", *Journal of Alloys and Compounds*, 511, pp. 45– 49
- MONDAL.D.P, Nidhi JHA, Anshul BADKUL,S.DAS. Effect of Al-TiB master alloy addition on microstructure, wear and compressive deformation behavior of aluminium alloys. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 22(2012).
- LI Jian-guo, YE Wei, LI Li, HUANG Min. Preparation of AlTiC Master Alloy Under Ultrasonic Vibration [ P]. CN 200410103904.3, 2004. ( in Chinese ).