

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN Mg PADA MATRIKS KOMPOSIT ALUMINIUM *RE MELTING* PISTON BERPENGUAT SiO₂ TERHADAP KEKUATAN IMPAK DAN STRUKTUR MIKRO MENGGUNAKAN METODE *STIR CASTING*

Andi Triono¹, Teguh Triyono², Indri Yaningsih²

¹Mahasiswa Program Sarjana - Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Composite
Aluminum
SiO₂
Stir casting
Wettability
Impact
Micro structure

Abstract :

AMC (Aluminium Matrix Composite) is one type of material that has great potential for development and is one way to get superior material. This research is to find out effect of Mg as wettability on Al-SiO₂ composite with SiO₂ mass fraction of 9%. This research will be added Mg with each variation of 1 %, 1.5 %, 2 % and 2.5 % with the composite manufacturing process using stir casting method. Specimens were tested using an optical microscope and impact charpy testing machine. The value of the highest impact on specimens obtained by the addition of Mg mass fraction of 2.5 % (0.507 J / mm²) Micro photograph showing the results of SiO₂ uniform distribution along with the addition of Mg to the composite.

1. PENDAHULUAN

Paduan aluminium-silikon (Al-Si) digunakan secara luas di bidang otomotif khususnya untuk piston karena memiliki ketahanan aus dan korosi yang baik, koefisien ekspansi termal yang rendah, dan memiliki rasio kekuatan dan berat yang tinggi. Paduan aluminium yang diperuntukkan untuk ketahanan aus merupakan paduan aluminium dengan dasar sistem paduan aluminium-silikon. (Tjokorda Gde Tirta Nindhia, 2010). Komposit bermatrik aluminium atau dikenal dengan AMC (*Aluminium Matrix Composite*) adalah salah satu jenis material yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan. 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).

Penambahan fraksi massa penguat dapat meningkatkan kekuatan pada komposit (Rizkalla dan Abdulwahed, 1996). Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh fraksi massa penguat terhadap ketangguhan dan struktur mikro komposit Al-SiO₂ dengan metode *stir casting*. Dalam bidang pengecoran material MMC (*Metal Matrix Composite*), *wettability* atau kebasahan partikel penguat oleh matriks paduan adalah parameter yang penting. *Wettability* didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk menyebar membasahi permukaan material padat. Kontak yang bagus antar partikel keramik solid dengan matriks hasil pengecoran menandakan bahwa cairan bisa membasahi fasa padat partikel penguat. Ada beberapa cara yang bisa digunakan untuk meningkatkan *wettability* partikel, yaitu dengan penambahan elemen pengaktif permukaan ke dalam matriks. Misalkan unsur magnesium (Mg), pelapisan atau oksidasi partikel keramik, pembersihan partikel, dan perlakuan *pre-heat* pada partikel. (Hashim dkk, 2001)

Rana dkk (2012) melakukan riset pengaruh penambahan elemen atau unsur pada struktur mikro dan sifat mekanis paduan aluminium dan paduan aluminium komposit. Efek penambahan Mg pada paduan Aluminium memperbesar kekuatan dan memperbaiki kekerasan pada aluminium, serta meningkatkan resistansi terhadap korosi dan meningkatkan *wettability*.

Suyanto dkk (2013) Meneliti tentang pengaruh komposisi Mg dan SiC terhadap sifat kekerasan komposit AlSi-SiC yang dibuat dengan proses *semi solid stir casting* Mg 1% ditambahkan untuk meningkatkan *wettability*. *Semi solid stir casting* dilakukan untuk mempermudah percampuran antara matriks dengan partikel penguat.

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.

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. Penambahan serbuk Mg yang berfungsi sebagai *wetting agent* bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar muka antara matriks aluminium

dengan penguat SiO₂ agar keduanya dapat terikat sehingga penyebaran penguat SiO₂ akan merata dan semakin homogen.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebaran SiO₂ pada komposit matriks aluminium dengan penambahan serbuk Mg yang berfungsi sebagai *wetting agent* yang bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar muka antara matriks aluminium dengan penguat SiO₂ agar keduanya dapat terikat serta mengamati dan menganalisis kekuatan impact dan struktur mikro dari komposit matriks aluminium dengan penguat SiO₂.

2. PEMILIHAN MATERIAL

2.1 Aluminium

Pada penelitian ini digunakan aluminium dari piston bekas kendaraan yang telah *remelting* dengan unsur paduan paling banyak yaitu Al-Si dengan kandungan unsur Al : 87,40% dan Si : 8,79% seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3.1 Komposisi aluminium *remelting* piston

Unsur	Presentase Kandungan (%)
Al	87.40
Si	8.79
Fe	0.822
Cu	0.120
Mn	0.118
Mg	< 0.0500

2.2 Silikon Oksida

Bahan penguat yang digunakan adalah pasir silika (SiO₂). Secara kimia, SiO₂ adalah material silicate paling sederhana. Secara struktural adalah jaringan tiga dimensi yang dihasilkan ketika setiap sudut atom oksigen di setiap tetrahedron dibagi oleh tetrahedra yang berdekatan. Dengan demikian, material ini netral secara elektrik dan semua atom memiliki struktur elektronik yang stabil.

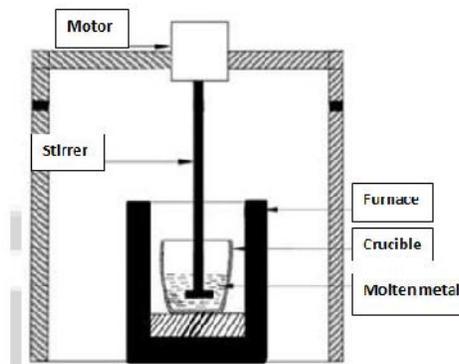
2.3 Magnesium

Magnesium umumnya digunakan untuk paduan seperti halnya dengan unsur lain seperti Cu, Ni, Cr maupun Zn untuk dipadukan dengan Al-Si untuk mendapatkan material yang tangguh dan kuat. Dalam bidang pengecoran material MMC, Mg disini digunakan sebagai *wettability* partikel penguat agar matriks dapat mengikat partikel penguat SiO₂ dengan baik dan persebarannya merata. Dalam penelitian ini digunakan magnesium dengan kadar 98% berbentuk serbuk.

3 PROSES STIR CASTING

Proses *stir casting* merupakan salah satu proses pembuatan komposit dalam kondisi cair yang paling sederhana. Prinsip dari proses *stir casting* adalah penyatuan partikel penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik diatas garis *liquidus*, lalu dituangkan ke dalam cetakan. Skema dari proses *stir casting* dilihat pada gambar 3.1.

Keuntungan dari proses ini adalah mampu menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dibasahi tersebut terdistribusi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel penguat terperangkap dalam logam cair.



Gambar 3.1. Proses stir casting (Mathur dan Barnawal, 2013)

Metode pembuatan ini merupakan metode yang paling sederhana, relatif lebih murah dan tidak memerlukan peralatan tambahan. Namun proses *stir casting* ini kadangkala mengalami beberapa kendala diantaranya adalah

distribusi partikel yang kurang homogen dan *wettability* aluminium terhadap beberapa jenis keramik yang kurang baik. Ketidakhomogenan mikrostruktur disebabkan oleh penggumpalan partikel penguat (*clustering*) dan pengendapan selama pembekuan berlangsung akibat perbedaan densitas matrik dan penguat, terutama pada fraksi volume partikel tinggi. Secara umum fraksi volume penguat hingga 30% dan ukuran partikel 5 – 100 µm dapat disatukan kedalam logam cair dengan metode *stir casting*. Parameter yang dapat mempengaruhi dalam proses *stir casting* yaitu : kecepatan pengadukan, temperatur pengadukan, perlakuan panas terhadap penguatnya, waktu pengadukan dan kecepatan penuangan serbuk. (Bhandare.dkk, 2013)

4. METODE PENELITIAN

4.1 Prosedur Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama mencakup peralatan selama pabrikan komposit Al/SiO₂ dengan kadar SiO₂ 9% wt dan variasi penambahan Mg 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% bagian kedua mencakup peralatan untuk karakterisasi komposit Al/SiO₂.

4.1.1 Peralatan yang digunakan untuk pabrikan komposit SiO₂ :

- a. Tungku peleburan dan batang pengaduk



Gambar 4.1. Peralatan *stir casting*; a. Tungku peleburan; b. Batang pengaduk

Tungku peleburan merupakan alat untuk melelehkan aluminium dan sebagai tempat pembuatan komposit, tungku dipanaskan sampai suhu 750°C lalu masukan aluminium dan biarkan sampai meleleh. Ketika aluminium telah meleleh sempurna dimasukan serbuk Mg terlebih dahulu yang bertujuan untuk meningkatkan kebasahan permukaan aluminium dan mereduksi gas O₂ yang terdapat pada lelehan aluminium sehingga kebasahan permukaan cairan aluminium semakin baik sebelum ditambah unsur penguat partikel SiO₂ terlebih dahulu suhu diturunkan sampai suhu semi solid, disini suhu yang digunakan yaitu 650°C.

- b. Cetakan

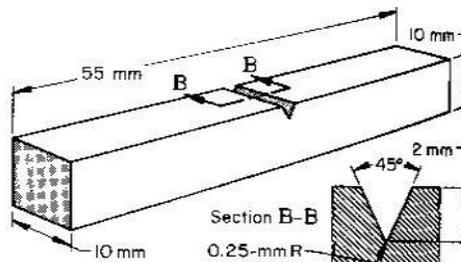


Gambar 4.2. Cetakan permanen

Paduan komposit dituang kedalam cetakan permanen yang didesain untuk pengujian impact. Setelah paduan mengeras lalu dibuka dari cetakan dan selanjutnya spesimen siap dilakukan pengujian impact.

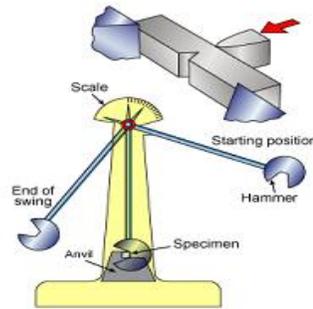
4.1.2 Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi komposit Al/SiO₂ :

- a. Spesimen uji impact



Gambar 4.3. Dimensi Spesimen Uji Impact Charpy (ASTM E 23)

b. Alat uji impact *charpy*



Gambar 4.4. Ilustrasi Skematis Pengujian Impact

Spesimen diletakan dan dijepit pada alat uji impact *charpy* seperti ditampikan pada gambar skematis diatas, setelah itu pendulum atau bandul ditarik dengan besar sudut 90° dan dilepaskan sehingga bandul atau pendulum akan menabrak spesimen sampai patah. Kemudian baca nilai besaran sudut pada jarum penunjuk untuk dapat menghitung nilai energy serapnya.

Menghitung nilai energi yang diserap oleh spesimen :

$$E = W \cdot R (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (1)$$

Dari rumus diatas kemudian diperoleh rumus untuk menghitung nilai impact :

$$I_s = HI \quad (2)$$

Dimana :

I_s = nilai impact [J/mm^2]

E = energi [joule]

W = berat pendulum [9,5 Kg]

R = panjang pendulum [810 mm]

α = sudut penyimpangan awal

β = sudut penyimpangan akhir

A_o = luas penampang [mm^2]

(standar ASTM E 23)

c. Pengujian Metalografi



Gambar 4.5. Alat uji metalografi mikro merk Olympus



Gambar 4.6. Alat uji metalografi makro merk Olympus

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat truktur mikro dari partikel SiO₂ apakah persebarannya merata dan homogen setelah efek pemberian Mg yang dimana fungsi dari Mg pada penelitian ini ditujukan sebaga *wetting agent*. Sebelumnya spesimen diampas dengan amplas ukuran 100, 250, 450, 500, 800, 1000, 1200, 1500, 2000. Kemudian spesimen dipoles menggunakan autosol sampai mengkilap. Setelah itu spesimen dietsa menggunakan larutan etsa dengan komposisi yaitu 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO₃, 190 ml aquades. (ASTM E407)

d. Pengujian SEM (*Scaning Elektron Microscopy*)



Gambar 4.7. Alat uji SEM merk oxford instrument

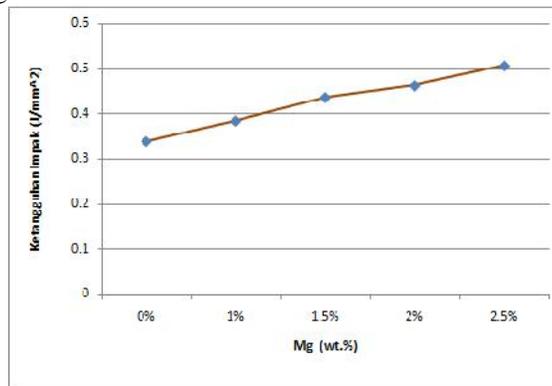
Alat uji SEM digunakan untuk melihat partikel-partikel paduan komposit dengan menggunakan elektron. Dimana partikel akan semakin lebih jelas terlihat ikatannya dan dapat diketahui juga jenis dari beberapa partikel penyusunnya.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengaruh variasi Mg pada kekuatan impact

Data hasil pengujian impact komposit dengan Al-Si sebagai matrik dan serbuk SiO₂ (mesh 270) sebagai penguat dengan variasi fraksi massa 9% dengan penambahan Mg variasi massa 1%, 1,5%, 2% dan 2,5 % menggunakan metode *stir casting*.

Gambar 5.1 menunjukkan bahwa harga impact material meningkat seiring dengan penambahan mg pada komposit. Hal ini dapat dilihat dari hasil uji impact material tanpa penambahan Mg dan dengan penambahan Mg 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5% masing-masing sebesar 0,339 J/mm², 0,385 J/mm², 0,425 J/mm², 0,463 J/mm² dan 0,507 J/mm². Persentase kenaikan kekuatan impact dari komposit tanpa Mg dengan penambahan Mg 2,5% yaitu sebesar 49 %. Peningkatan kekuatan impact pada komposit matrik aluminium ini menunjukkan bahwa sifat komposit yang semakin tangguh



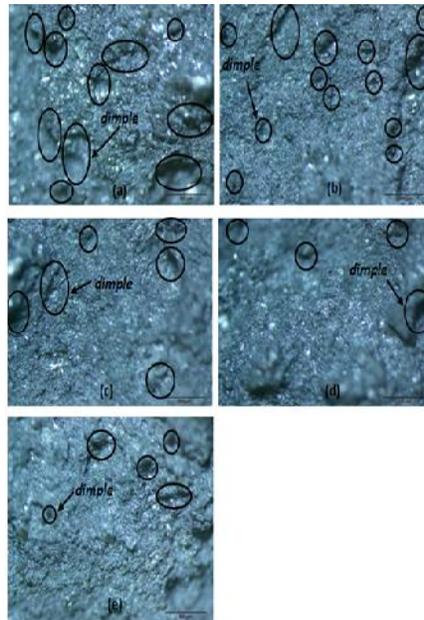
Gambar 5.1. Grafik harga impact pengaruh penambahan Mg pada komposit Al/SiO₂

Peningkatan kekuatan impact pada komposit disebabkan oleh kecenderungan penguat untuk patah dan *spall* sebagai hasil dari impact yang berulang pada butiran. Matrik Al-Si dapat menyerap kerusakan substansial dalam bentuk deformasi plastis. Akan tetapi, fraksi massa SiO₂ yang tinggi dapat membatasi jumlah deformasi plastis yang diserap matrik. Hal ini mengarahkan kepada fenomena terjadinya *fracture* secara cepat pada penguat, pelepasan (*delamination*) matrik - partikel SiO₂ dan *spalling* partikel penguat. Sebagai konsekuensinya, Terjadi peningkatan kekuatan impact seiring dengan penambahan partikel penguat SiO₂. (Sayuti dkk, 2012)

Metode *stir casting* menghasilkan ukuran butiran yang lebih kecil dan ikatan antar muka yang baik antara penguat dan matrik. Penyebaran partikel penguat pada matrik juga terjadi secara seragam. Dengan semakin baiknya disperse partikel penguat pada matriks semakin besar juga nilai impact pada komposit (Mathur dan Barnawal 2013). Efek penambahan Mg pada paduan Aluminium memperbesar kekuatan dan memperbaiki

kekerasan pada aluminium, serta meningkatkan resistansi terhadap korosi dan meningkatkan *wettability* (Rana. dkk, 2012)

5.2 Pengamatan Makro terhadap Penampang Patahan pada Komposit

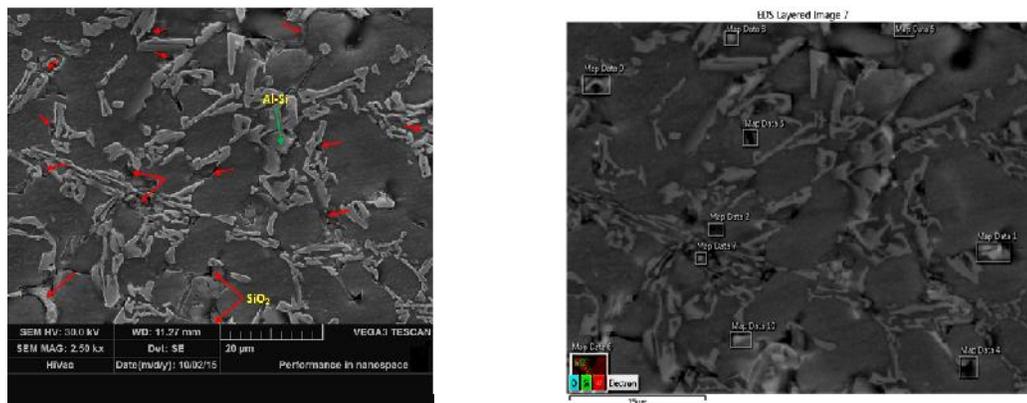


Gambar 5.2. Penampang patahan komposit; a. 9% SiO₂; b. 9% SiO₂+1% Mg; c. 9% SiO₂+1,5% Mg; d. 9% SiO₂+2% Mg; e. 9% SiO₂+2,5% Mg

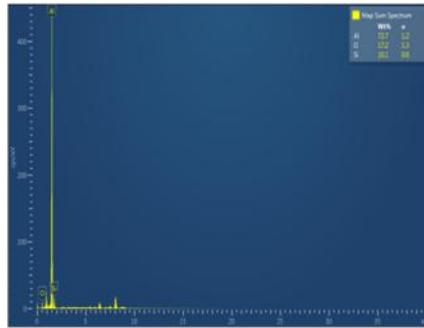
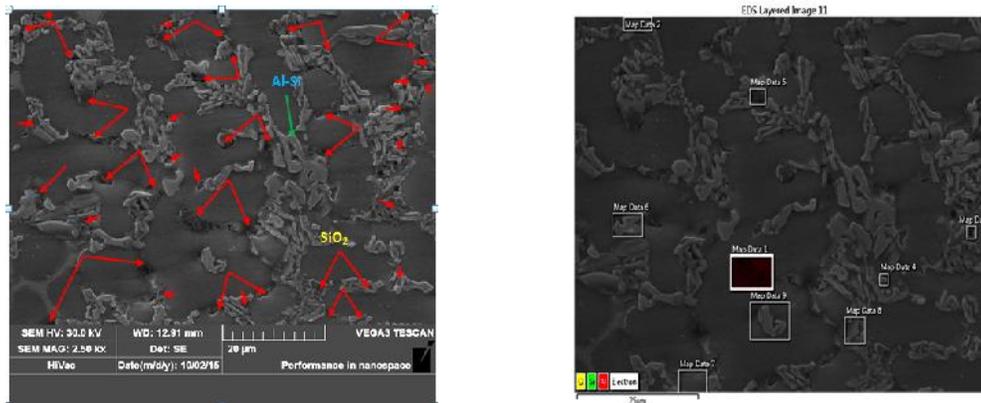
Gambar 5.2.a menunjukkan penampang patahan Al-Si dengan penguat SiO₂ tanpa Mg. Gambar tersebut menunjukkan *dimple* yang berukuran besar. Hal ini menunjukkan terjadinya aliran plastis yang cukup besar sebelum perpatahan. Jika dibandingkan antar variasi Mg pada komposit seperti pada gambar 6.2, maka akan terlihat seiring penambahan fraksi massa Mg pada komposit terjadi perpatahan campuran di mana *dimple* semakin kecil. Mg membuat persebaran SiO₂ semakin merata dan memperkecil ukuran kristalin yang mampu memperhalus ukuran butiran matrik dan mengurangi keuletan sehingga menghasilkan *dimple* yang lebih kecil. (Bhandare dkk, 2013)

Hal ini membuktikan bahwa penguat SiO₂ membatasi terjadinya deformasi plastis yang diserap oleh matrik. Pembatasan deformasi plastis ini disebabkan kehadiran permukaan yang keras dari penguat SiO₂. (Kalaiselvan dkk, 2011).

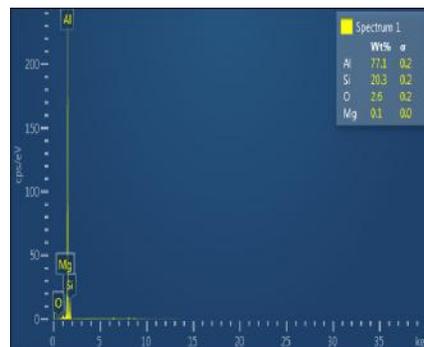
5.3 Pengamatan SEM (Scanning Elektron Microscopy)



Gambar 5.3. Foto EDS Spektrum komposit non Mg

Gambar 5.4. Hasil *Mapping* komposit non Mg

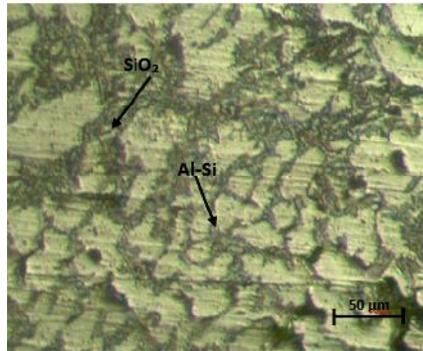
Gambar 5.5. Foto EDS Spectrum komposit Al + 2,5% Mg

Gambar 5.6. Hasil *Mapping* komposit + 2,5% Mg

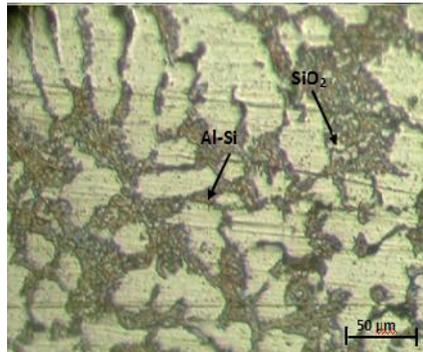
Gambar 5.3. komposit non Mg terlihat persebaran partikel penguat SiO_2 yang kurang homogen dan tidak merata pada komposit dan hanya terdapat di beberapa bagian saja. Sedangkan pada gambar 5.5. dengan penambahan Mg sebesar 2,5% terlihat SiO_2 semakin mengikat kuat dengan komposit. Mg sebagai *wettability* mempengaruhi persebaran partikel penguat SiO_2 sehingga partikel penguat penyebarannya semakin merata dan ukuran butir semakin kecil.

5.4 Pengamatan Struktur Mikro Komposit Matrik Aluminium

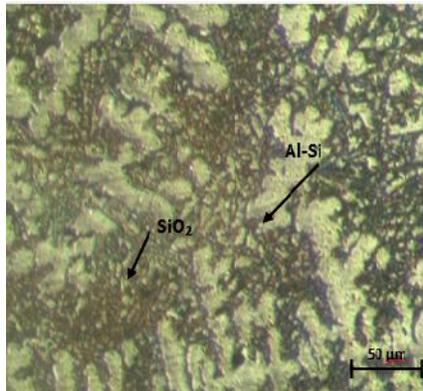
Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x. Pengamatan struktur mikro pada komposit dilakukan untuk mengetahui distribusi penyebaran partikel. Hasil pengamatan memperlihatkan penyebaran partikel penguat yang seragam pada matrik Al-Si. Hal ini disebabkan perbedaan densitas yang tidak terlalu jauh antara penguat SiO_2 dengan matrik. (Kalaiselvan dkk, 2011)



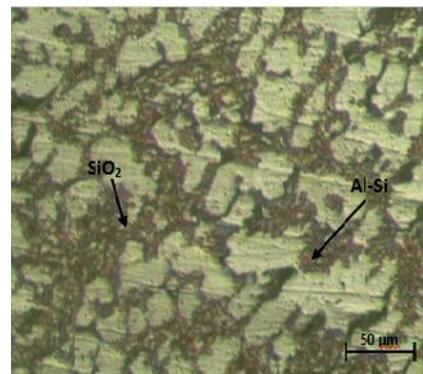
Gambar 5.7 Struktur mikro dengan fraksi massa SiO₂ 9% non Mg



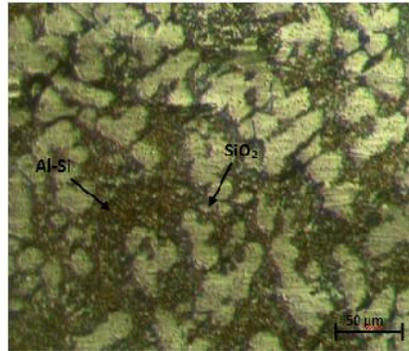
Gambar 5.8 Struktur mikro dengan fraksi massa SiO₂ 9% + Mg 1%



Gambar 5.9 Struktur mikro dengan fraksi massa SiO₂ 9% + Mg 1,5%



Gambar 5.10 Struktur mikro dengan fraksi massa SiO₂ 9% + Mg 2%



Gambar 5.11 Struktur mikro dengan fraksi massa SiO_2 9% + Mg 2%

Gambar 5.7. memperlihatkan distribusi partikel penguat yang kurang merata hal ini dipengaruhi karena kurang basahnya permukaan matriks sehingga kurang kuat dalam mengikat partikel penguat SiO_2 . Pada gambar 5.8 sampai gambar 5.11. dengan penambahan variasi massa Mg terlihat persebaran yang semakin merata seiring penambahan unsur Mg pada komposit. Hal ini menunjukkan bahwa unsur Mg sebagai *wettability* pada komposit sangat efektif dan mampu membuat ikatan partikel penguat dan matriks semakin baik sehingga mampu menambah kekuatan pada komposit semakin tangguh dan telah diperlihatkan dari hasil uji impact pada grafik gambar 5.1.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengamatan struktur mikro menunjukkan persebaran partikel penguat pada komposit tersebar semakin merata dan homogen dengan penambahan Mg.
2. Kekuatan impact semakin meningkat seiring dengan terdispersinya partikel penguat yang merata pada komposit.
3. Pengamatan makro dari penampang patah hasil uji impact menunjukkan hampir keseluruhan spesimen mengalami patah campuran di bagian yang dikenakan beban impact.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Bhandare, R.G., dan Sonarwane, P.M., 2013, *Preparation of Aluminium Matrix Composite by Using Stir Casting Method*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol. 3, pp. 61-65.
- G. Eisaabadi B., P. Davami, S.K. Kim, M. Tiryakioglu, 2013, *The effect of melt quality and filtering on the Weibull distributions of tensile properties in Al-7%Si-Mg alloy castings*, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- Grahardian adi, 2015 analisa pengaruh fraksi massa penguat SiO_2 terhadap kekuatan impact dan struktur mikro pada komposit matrik aluminium menggunakan metode *stir casting*,sebelas maret university, Surakarta.
- Hamouda, A.M.S., Sulaiman, S., Vijayaram, T.R., Sayuti, M., Ahmad, M.H.M., 2007, *Processing and Characterisation of Particulate Reinforced Aluminium Silicon Matrix Composite*, Journal of Achievements in Material and Manufacturing Engineering, Vol 25, ISSUE 2
- Hemalatha, K., Venkatachalapathy, V.S.K., Alagumurthy, N., 2013, *Processing and Synthesis of Metal Matrix Al 6063/Al₂O₃ Metal Matrix Composite by Stir Casting Process*, Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 3, pp. 1390-1394.
- Kainer, K.U., 2006, *Basic of Metal Matrix Composites*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 3-527-31360-5
- Kalaiselvan, K., Murugan, N., Parameswaran, Siva, 2011, *Production and Characterization of AA6061-B₄C Stir Cast Composite*, Elsevier, Material and Design 32, pp. 4004-4009
- Kumar, Abhishek, Lal, Shyam, Kumar, Sudhir, 2013, *Fabrication and Characterization of A359/Al₂O₃ Metal Matrix Composite Using Electromagnetic Stir Casting Method*, Journal of Material Research and Technology, pp. 250-254
- Lilin Hermawati, Sulardjaka, Sri Nugroho, 2014, *Pengaruh Tib Terhadap Kekerasan Komposit Alsing Yang Diperkuat Serbuk Sic*, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang
- Lokesh, G.N., Ramachandra, M., Mahendra, K.V., Sreenith, T., 2013, *Characterization of Al-Cu Alloy Reinforced Fly Ash Metal Matrix Composites by Squeeze Casting Method*, International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 5, No.4, pp.71-79
- Mathur, S. dan Barnawal, 2013, *Effect of Parameter of Stir Casting on Metal Matrix Composites*, International Journal of Science and Research (IJSR), Vol.2 , pp. 395-398

- M. Muzakki Sholihuddin, Hariyati Purwaningsih, 2013, *Analisis Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Paduan Al-Mg Hasil Proses Metalurgi Serbuk*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya.
- Putu Hadi, S., 2011, *Perilaku Impak dan Porositas Paduan Al-Si-Mg pada Pengecoran Sentrifugal Akibat Temperatur Pemanasan Awal Cetakan*, Jurnal
- R. S. Rana, Rajesh Purohit, and S Das, 2012, *Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites*, Department of Mechanical Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, India.
- Sajjadi, S.A., Ezatpour, H.R., Parizi, M. Torabi, 2011, *Comparison of Microstructure and Mechanical Properties of A356 Aluminum Alloy/ Al₂O₃ Composites Fabricated by Stir and Compo-Casting Processes*, Elsevier, Material and Design, pp 106-111
- Sayuti, M., Sulaiman S., Vijayaram, T.R., Baharudin, B.T.H.T., Arifin, M.K.A., 2012, *Manufacturing and Properties of Quartz (SiO₂) Particulate Reinforced Al-11,8%Si Matrix Composites*, InTech, pp. 411-436
- Scwartz, M., 1984, *Composite Material Handbook*, McGraw. Hill Book Company, New York.
- Selvam, David Raja, Smart, Robinson, I., D.S. Dinaharan, 2013, *Synthesis and Characterization of Al6061-Fly Ash-SiC Compoistes by Stir Casting and Compocasting Methods*, Elsevier, Energy Procedia, pp. 637-646
- Setiawan Noor Choliz, Suharno, Yadiono, 2013, *Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Suyanto, Sulardjaka, Sri Nugroho, 2014, *Pengaruh Komposisi Mg Dan Sic Terhadap Sifat Kekerasan Komposit Alsi-Sic Yang Dibuat Dengan Proses Semi Solid Stir Casting*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- X.J. Wang, N.Z. Wang, L.Y. Wang, X.S. Hu, K.Wu, Y.Q. Wang, Y.D. Huang, 2014, *Processing, microstructure and mechanical properties of micro-SiC particles reinforced magnesium matrix composites fabricated by stir casting assisted by ultrasonic treatment processing*, Harbin Institute of Technology (HIT), Harbin, China.