ANALISA KETANGGUHAN KOMPOSIT ALUMINIUM BERPENGUAT SERBUK SiC

Suyanto

Program Studi Teknik Bangunan Kapal
Akademi Teknik Perkapalan (ATP) Veteran Semarang
Email: suyantoeste@yahoo.com

ABSTRAK

Produksi AMC yang diperkuat SiC adalah untuk memadukan sifat mekanik aluminium yang ulet dan ringan dengan sifat SiC yang keras. Diantara sifat material yang diinginkan adalah tangguh dan ringan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa ketangguhan komposit aluminium berpenguat serbuk SiC yang dibuat dengan metode *semi solid stir casting*. Analisa ketangguhan dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu analisa ketangguhan dari hasil uji tarik dan hasil uji impak. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa penambahan SiC hingga 5% mampu meningkatkan ketangguhan komposit Al-SiC. Pada penambahan SiC lebih dari 5% ketangguhannya mengalami penurunan.

Kata kunci: AMC, SiC, ketangguhan.

ABSTRACT

AMC production with SiC as reinforcement has a purpose to combine the mechanical properties of aluminum and SiC. Among the desired material properties is tough and lightweight. This research aims to analyze the toughness of the composite aluminum reinforced SiC powder made by semi- solid casting method. wheel This research use semi-solid stir casting method. Toughness analysis done by two approaches , namely toughness analysis of tensile test curve and impact test results . The conclusion is that adding SiC up to 5% can improve the toughness of the AMC. The toughness is decrease in addition more than 5% SiC.

Keywords: AMC, SiC, toughness

1. PENDAHULUAN

AMC (*Aluminum Matrix Composites*) adalah jenis material komposit logam dengan aluminium sebagai matrik dan serbuk SiC sebagai penguat. AMC mempunyai prospek pengembangan yang bagus, didasari oleh sifat-sifatnya yang baik, seperti kekerasan dan kekuatan yang tinggi, mampu mesin yang baik, densitas yang rendah, bahan dasar yang mudah didapatkan, dengan harga yang ekonomis dan bersaing dengan material lain. AMC banyak dimanfaatkan pada bidang industri otomotif, penerbangan, dan pertahanan sebagai bahan kendaraan tempur yang membutuhkan performa tinggi. AMC bisa diaplikasikan dalam permesinan pesawat terbang, dan aplikasi dalam industri otomotif [1].

Proses pembuatan AMC dengan cara pengecoran mempunyai beberapa kelemahan diantaranya adalah sulitnya terjadi pencampuran partikel SiC ke dalam aluminium cair karena partikel SiC sulit terbasahi permukaannya oleh aluminium cair. Masalah lainnya adalah kecenderungan partikel SiC mengendap di dasar matrik aluminium cair. Hal tersebut menyebabkan distribusi SiC tidak seragam dan akan berpengaruh terhadap sifat mekanik AMC yang dihasilkan, sehingga sifat mekanik bahan yang diinginkan tidak bisa tercapai.

Beberapa penelitian dilakukan untuk mengatasi permasalahan pada pengecoran aluminium berpenguat SiC. Salah satu metode yang dipakai adalah teknik *stir casting* menggunakan pengadukan dengan putaran tinggi dan dengan pemanasan awal terhadap partikel keramik agar bisa terbasahi oleh matrik cair, sebelum dicampurkan ke dalam matrik. Tujuan utamanya adalah untuk mendapatkan distribusi partikel keramik yang seragam [2]. 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 [3].

Produksi AMC yang diperkuat SiC mempunyai target memadukan sifat mekanik aluminium dan SiC. Kelebihan aluminium adalah ringan (massa jenis 2,7 gram/cm³), tahan korosi, dan mempunyai sifat

mampu cor yang baik. Namun untuk aplikasi tertentu beberapa sifat mekanik aluminium perlu ditingkatkan diantaranya sifat kekuatan dan ketangguhan. Ketangguhan adalah kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis dan menyerap energi dalam proses deformasi hingga mengalami perpatahan. Yang menjadi inti adalah besarnya energi yang disesap sebelum patah. Ketangguhan mempunyai relasi dengan kekuatan dan keuletan. Dengan kata lain suatu material yang mempunyai kekuatan dan keuletan tinggi akan mempunyai ketangguhan yang tinggi pula. Demikian pula sebaliknya material yang mempunyai kekuatan dan keuletan rendah akan memiliki ketangguhan yang rendah.

Salah satu cara untuk mengukur ketangguhan material adalah dengan cara menghitung luasan dibawah kurva tegangan-regangan hasil uji tarik. Nilai tersebut disebut "ketangguhan material" yang memiliki satuan energi per volume [4]. Luas ini menunjukkan jumlah energy persatuan volume yang dapat di kenakan kepada material tanpa mengakibatkan material tersebut rusak atau patah . Terdapat beberapa cara untuk menentukan luas daerah dibawah kurva tegangan regangan. Untuk menentukan luasan dibawah kurva tegangan-regangan hasil uji tarik bisa digunakan cara sederhana yaitu dengan menghitung luasan di bawah kurva dengan metode segitiga atau metode trapesium.

Nilai ketangguhan material juga bisa didapatkan dengan pengujian impact. Ketangguhan material yang diperoleh dengan pengujian impact menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen atau energi yang diserap spesimen hingga mengalami patah. Prinsip kerja uji impact menggunakan hukum kekekalan energi. Standar pengujian impact untuk material logam bisa mengacu pada ASTM E 23 [5].

Tulisan ini akan menyajikan pembuatan AMC berpenguat SiC dengan proses *stir casting* dan pengadukan pada kondisi *semi solid*. Penambahan Mg sebagai *wetting agent* dilakukan agar aluminium cair bisa membasahi SiC. Pengujian impact dan tarik dilakukan untuk menganalisa ketangguhan AMC yang dihasilkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode *stirring* pada logam cair atau metode *vortex* sangat menguntungkan untuk digunakan, karena bentuk *casting* hampir sama dengan produk akhir yang diinginkan, dan biaya produksi yang relatif rendah. Pada metode ini parameter yang berpengaruh terhadap hasil *stir casting* 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 [6].

Penelitian tentang komposit Al-SiC dengan menerapkan teknik *stir casting* dilakukan dengan menggunakan matrik A356, SiC divariasikan hingga prosentase 9%. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengadukan pada kondisi matrik cair sempurna. Partikel SiC sebagai penguat bisa tercampur dengan baik pada pengadukan kondisi cair [7]. Aluminum Matrik Composites dengan SiC 10% berhasil dibuat dengan dispersi SiC yang homogen dengan teknik pengadukan pada kondisi *semi solid*. 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 matriks cair. Pengadukan pada kondisi semi solid bisa membantu penyatuan matrik dan penguat, namun harus dipanaskan lagi sampai suhu penuangan [3].

Penelitian untuk mengetahui kekuatan impact komposit Al-SiC dilakukan oleh beberapa peneliti. Penelitian menggunakan matrik AlSi7Mg2 dengan penambahan partikel SiC 5%, 10%, dan 15% masing-masing menghasilkan ketangguhan impact 0,38 J, 0,42 J, dan 0,58 J [8]. Ketangguhan komposit Al-SiC dengan matrik Al 6063 yang ditambah partikel SiC 5%, 10%, 15%, dan 20% berturut-turut sebesar 24 Nm, 26 Nm, 29 Nm, dan 32 Nm [9]. Penelitian menggunakan matrik Al 98,4% dengan penambahan partikel SiC sebanyak 5%, 10%, 15%, dan 20% mendapatkan ketangguhan impact berturut-turut 22 Nm, 24 Nm, 26 Nm, dan 27 Nm [10]. Penelitian lain dengan matrik dan persentase penambahan SiC yang sama menghasilkan ketangguhan impact berturut-turut 22,67 J, 24 J, 27,33 J, dan 31,33 J.

Penelitian menggunakan aluminium murni sebagai matrik juga dilakukan. Dengan penambahan 10% SiC, ketangguhan impact yang dihasilkan adalah 8,7 Nm [11]. Penambahan SiC 5%, 10%, dan 20% pada aluminium murni menghasilkan ketangguhan impact berturut-turut 4,8 J, 5,2 J, dan 8,2 J [12]. Dari beberapa penelitian di atas bisa ditarik satu kesamaan bahwa kekuatan impact meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan SiC sampai kadar tertentu.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan komposit bermatrik aluminium (Al-7Si) dengan penguat SiC dengan penambahan unsur Mg untuk meningkatkan *wettability*. Persen SiC yang

ditambahkan adalah 5%, 7,5%, dan 10% massa, sementara Mg ditambahkan sebanyak 1% massa. Pembuatan komposit tersebut menggunakan proses *semi solid stir casting*. Fokus penelitian adalah mendapatkan parameter persentase Mg dan SiC yang sesuai untuk mendapatkan dispersi partikel SiC yang seragam dan *wettability* yang baik.

3.1 Proses Stir Casting

Proses yang dilakukan stir casting adalah sebagai berikut :

- 1) Melakukan persiapan bahan-bahan yang akan dilebur yaitu Al7Si ingot, dan Mg. 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.
- 2) Masing-masing bahan ditimbang untuk mendapatkan komposisi massa sesuai dengan variasi. Adapun hasil penimbangan bahan untuk masing-masing variasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi komposisi pengecoran

Komposit	Al7Si (gram)	Mg (gram)	SiC (gram)	Total (gram)
Al7Si	1000	-	-	1000
Al7Si+SiC 5%	950	-	50	1000
Al7Si+SiC 7,5%	925	-	75	1000
Al7Si+SiC 10%	900	-	100	1000
Al7Si1Mg	990	10	-	1000
Al7Si1Mg+SiC 5%	940,5	9,5	50	1000
Al7Si1Mg+SiC 7,5%	915,75	9,25	75	1000
Al7Si1Mg+SiC 10%	891	9	100	1000

- 3) Bahan matrik (Al7Si / Al7Si1Mg) kemudian dimasukkan ke dalam tungku peleburan stir casting, dan dipanaskan sampai suhu 700oC untuk mencapai kondisi cair sempurna. Setelah itu didinginkan sampai suhu 590oC untuk mencapai kondisi semi solid. Sementara itu SiC juga dipanaskan sampai suhu 500oC. Cetakan logam juga dipanaskan sampai suhu 200oC.
- 4) SiC yang sudah dipanaskan kemudian dimasukkan ke dalam tungku sedikit demi sedikit untuk dicampur dengan matriks semi solid. Pengadukan dengan stirrer dengan kecepatan putar 600 rpm dibantu dengan pengadukan manual dilakukan selama 5 menit agar terjadi dispersi yang homogen dan permukaan SiC terbasahi dengan baik oleh matrik.
- 5) Suhu kemudian dinaikkan sampai suhu penuangan yaitu 850 oC sambil terus dilakukan pengadukan. Dilanjutkan dengan penuangan pada cetakan yang sudah dipanaskan terlebih dahulu hingga 200oC. Pendinginan dilakukan pada suhu ruang.
- 6) Setelah hasil cor mencapai suhu runtuang dan padat, kemudian dilepaskan dari cetakan, dan bahan dipotong sesuai dengan ukuran spesimen pengujian.

Proses *stir casting* dijelaskan dengan melalui grafik waktu vs suhu sebagaimana tercantum pada Gambar 1. *Setup* pengaduk dalam proses *stir casting* bisa dilihat pada Gambar 2.

Gambar 1. Grafik waktu vs suhu proses stir casting

3.2 Pengujian Tarik dan Impak

Pengujian tarik dilakukan dengan berpedoman standar pengujian ASTM E 8M-04 [13]. Dalam pengujian ini akan didapatkan kurva tegangan-regangan. Dari kurva tersebut akan dicari luas daerah di bawah kurva yang merupakan nilai ketangguhan material. Uji Impak dilakukan dengan standar ASTM E-23 02a [5]. Jenis pengujian yang dilakukan adalah CHARPY dengan spesimen seperti tipe A. Nilai

ketangguhan material adalah besar energi yang diserap selama pengujian, yang dihitung dari besarnya selisih sudut awal dan sudut akhir pendulum. Harga impak adalah energi yang diserap dibagi dengan luas penampang patahan spesimen.

Gambar 2. Setup pengaduk pada proses *stir casting*. Ketinggian pengaduk (H) dibuat naik turun

4. DATA DAN ANALISA

4.1 Nilai Ketangguhan Material Hasil Uji Tarik

Uji tarik dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro dengan berpedoman pada ASTM E 8M-04. Hasil uji tarik berupa kurva tegangan – regangan bisa dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Luasan di bawah kurva tegangan-regangan

Kurva tegangan-regangan kemudian digunakan untuk mencari luas daerah di bawah kurva dengan metode trapesium. Harga ketangguhan yang dihasilkan adalah energi per satuan volume (Joule/cm^3). Harga ketangguhan dari masing-masing ditunjukkan pada Tabel 2. Ketangguhan dari masing-masing komposisi adalah hasil rata-rata dari tiga hasil pengujian tarik.

Tabel 2. Harga ketangguhan hasil uji tarik

Komposit	Ketangguhan (J/cm^3)
Al7Si	3,68
Al7Si+5%SiC	4,6
Al7Si+7,5% SiC	1,45
Al7Si+10%SiC	1,02
Al7Si1Mg	4,07
Al7Si1Mg+5%SiC	4,92
Al7Si1Mg+7,5% SiC	2,57
Al7Si1Mg+10%SiC	1,43

Data ketangguhan material masing-masing variasi kemudian dibuat grafik hubungan antara penambahan persentase SiC dengan sifat ketangguhan material.

Gambar 4. Grafik hubungan antara %SiC dengan ketangguhan AMC

Gambar 4. menunjukkan bahwa ketangguhan Al7Si mengalami peningkatan dengan adanya penambahan 1%Mg, yaitu naik sekitar 11%. Ketangguhan material juga meningkat dengan penambahan 5% SiC, yaitu meningkat 25% pada Al7Si + 5% SiC, dan ketangguhan meningkat 21% pada Al7Si1Mg+5%SiC. Penurunan ketangguhan terjadi seiring dengan penambahan SiC lebih dari 5%. Sifat ketangguhan ini sejalan dengan sifat tarik lainnya dimana kekuatan tarik meningkat pada penambahan SiC 5% namun kemudian turun pada penambahan SiC lebih dari 5%. Sementara itu nilai regangan menurun dengan penambahan persentase SiC. Dengan demikian luasan daerah di bawah kurva naik pada penambahan 5% SiC dan kemudian menurun dengan penambahan SiC diatas 5%.

4.2 Perubahan Harga Impak sebagai Hasil Penambahan SiC

Pengujian impak dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin Universitas Gajah Mada. Spesimen yang disiapkan untuk masing-masing variasi adalah 3 spesimen. Pelaksanaan uji impak berdasarkan standar ASTM E-23 02a. Hasil pengujian bisa dilihat pada Tabel 3. Data yang disajikan adalah nilai rata-rata dari tiga nilai hasil uji impak.

Tabel 3. Hasil uji impak	
Komposit	Harga Impak (J/cm ²)
Al7Si	3,81
Al7Si+5%SiC	4,37
Al7Si+7,5% SiC	3,83
Al7Si+10%SiC	3,59
Al7Si1Mg	3,79
Al7Si1Mg+5%SiC	4,73
Al7Si1Mg+7,5% SiC	4,53
Al7Si1Mg+10%SiC	4,59

Data pada Tabel 3. kemudian dibuat grafik hubungan antara harga impak dengan persen SiC. Grafik hubungan tersebut ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Perubahan harga impak sebagai hasil penambahan SiC

Grafik pada Gambar 5. Menunjukkan bahwa harga impak komposit Al7Si1Mg + SiC lebih tinggi dibanding komposit Al7Si + SiC untuk semua variasi persentase SiC. Harga impak tertinggi diperoleh

pada penambahan 5% SiC baik untuk komposit tanpa ataupun dengan penambahan unsur Mg. Namun harga impact tertinggi sebesar $4,73 \text{ J/cm}^3$ diperoleh dengan penambahan Mg 1% dan SiC 5%.

Kedua metode untuk mendapatkan nilai ketangguhan material yaitu dengan pengujian impact maupun luasan kurva tegangan-regangan hasil uji tarik terdapat kesamaan dan perbedaan. Kesamaannya adalah dengan penambahan 1% Mg mampu meningkatkan ketangguhan, dan nilai ketangguhan tertinggi sama-sama dicapai pada penambahan 5% SiC. Penambahan SiC lebih dari 5% sama-sama menurunkan ketangguhan, namun penurunan ketangguhan yang diperoleh dari perhitungan kurva tegangan-regangan lebih ekstrim dibandingkan dengan penurunan ketangguhan pada uji impact. Fenomena ini terjadi karena pada pengujian tarik terjadi deformasi plastis pada spesimen atau diakomodasinya perhitungan energi yang diserap dalam deformasi per satuan volum. Sedangkan pada pengujian impact, kondisi yang diupayakan adalah terjadinya patah tanpa adanya deformasi plastis di sekitar patahan, atau tidak mengakomodasi energi yang diserap untuk terjadinya deformasi plastis per satuan volume. Dengan demikian material AMC berpenguat SiC lebih tangguh untuk menerima beban impact dibanding dengan beban tarik.

Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa peningkatan persentase SiC akan meningkatkan ketangguhan impact. Pada penelitian ini kenaikan harga impact dicapai hingga penambahan SiC 5%, sedangkan harga impact menurun dengan penambahan SiC lebih dari 5%. Dari data tersebut bisa dianalisa bahwa penambahan Mg 1% hanya efektif untuk menaikkan *wettability* matriks Al terhadap SiC sampai 5%. Penambahan Mg lebih dari 1% diperlukan untuk mempertahankan *wettability* pada penambahan SiC lebih dari 5%.

5. KESIMPULAN

- 1) Penambahan 1% Mg mampu meningkatkan ketangguhan, dan nilai ketangguhan tertinggi dicapai pada penambahan 5% SiC
- 2) Penambahan SiC lebih dari 5% menurunkan ketangguhan
- 3) Penambahan Mg 1% hanya efektif untuk menaikkan *wettability* matriks Al terhadap SiC sampai 5%. Penambahan Mg lebih dari 1% diperlukan untuk mempertahankan *wettability* pada penambahan SiC lebih dari 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sahin, Y., and Murphy, S. (1996). "The Effect of Fibre Orientation of The Dry Sliding Wear of Borsic Reinforced Aluminium Alloy". *S. Mater Sci* 34, 5399-5407.
- [2] Taha, MA., and El-Mahallawy, NA. (1993). "Advances in Metal Matrix Composites". *Key Engineering Materials* 79-80, 75-90.
- [3] Hashim, J., et al. (2001). "The Wettability of SiC Particle in Cast Aluminium Matrix Composites". *Journal of Material Processing Technology* 119, 329-335.
- [4] Roylance, D. (2001). "Stress-Strain Curve", *Dept. of Materials Science and Engineering, Cambridge*.
- [5] ASTM E-23. (2003). *Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*.
- [6] Soe, YH., and Kang, CG. (1995). "The Effect of Aplied Pressure on Particle Dispersion Characteristic and Mechanical Properties in Melt Stiring Squeeze Cast SiC/Al Composites". *J. Mater Process, Technol.* 55, 370-379.
- [7] Viswanatha, BM., et al. (2013). "Mechanical Properties Evaluation of A356/SiCp/Gr Metal Matrix Composites". *Journal of Engineering Science and Technology* 8.6, 754-763.
- [8] Ozben, T., et al. (2008). "Investigation Mechanical and Machinability Properties of SiC Particle Reinforced Al-MMC". *Journal of Materials Processing Technology* 1.98, 220-225e.
- [9] Meena, K.L., Manna, A., Banwait, SS. (2013). "An Analysis of Mechanical Properties of The Developed Al/SiC-MMC". *American Journal of Mechanical Engineering* 1.1, 14-19.
- [10] Manoj, S., Dwivwli, D., Singh, L. (2009). "Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Matal Matrix Composites". *Journal of Mineral and Materials Characterization and Engineering* 8.6, 455-467.
- [11] Singh, G., and Kalra, CS. (2014). "Fabrication and Characterization of Al Based Hybrid Composites Reinforced With SiC, AL₂O₃, and C Particles by Squeeze Casting". *Mechanica Confab* 3, 1-9.
- [12] Zehraa, N., and Ameer, A. (2013). "Studying Some of Mechanical and Thermal Properties of Al-SiC composites", *Journal of Al-Nahrain University* 16.2, 119-123.
- [13] ASTM E 8M-04. (2004). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.