

## Study Pengaruh Kecepatan Pengadukan pada Proses *Stir Casting* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik AMC Berpenguat Pasir Silica yang Dilakukan Proses *Electroless Coating*

Teguh Triyono<sup>1\*</sup>, Abdul Latief Al Yusron<sup>1</sup>, Eko Surojo<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta

\*e-mail address: teguhtriyono@staff.uns.ac.id

---

### Keywords:

AMC, Stir Casting, *Electroless Coating*, sifat fisik, sifat mekanik,

---

### Abstract:

Penggunaan material dengan bahan komposit mulai banyak dikembangkan dalam industri manufaktur. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya lebih ringan, kekuatan lebih tinggi, tahan korosi dan biaya perakitan yang lebih murah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan pada proses *stirr casting* terhadap sifat fisik dan mekanik pada komposit matriks aluminium (AMC) berpenguat pasir silica yang di-*electroless coating*. Proses *stirr casting* dilakukan dengan variasi kecepatan pengadukan 300, 400, 500 rpm selama 5 menit pada temperatur semi solid. Fraksi volume pasir silica yang digunakan sebanyak 9% serta penambahan Mg dengan fraksi volume 2,5%. Temperatur penuangan 725°C dan bahan matrik yang digunakan adalah remelting piston bekas. Pengujian impak charpy menggunakan standar ASTM E-23 dan kekuatan tarik menggunakan standar ASTM E-8. Meningkatnya variasi kecepatan pengadukan dan pengaruh perlakuan pasir silica yang di *electrolis coating* akan meningkatkan kekuatan impak dan kekuatan tarik. Rata rata nilai impak dan kekuatan tarik paling tinggi didapat pada spesimen dengan kecepatan pengadukan 500 rpm dengan temperatur tuang 725°C (117,88 N/mm<sup>2</sup> dan 0,56 J/mm<sup>2</sup>). Pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan mempengaruhi penyebaran partikel penguat.

---

## PENDAHULUAN

Penggunaan material dengan bahan komposit mulai banyak dikembangkan dalam dunia industri manufaktur [1]. Bahan komposit memiliki banyak keunggulan, diantaranya berat yang lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi, tahan korosi dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah karena berkurangnya jumlah komponen dan baut-baut penyambung. Komposit merupakan gabungan antara dua material atau lebih yang menjadi suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya. Definisi lain dari material komposit adalah perpaduan antara material berdasarkan sifat masing masing untuk menghasilkan material baru yang bersifat lebih baik dari material dasarnya dan terjadi ikatan antar muka dari material penyusunnya [2]. Bahan matrik pada komposit umumnya dapat berupa logam, polimer, keramik dan karbon. Matrik yang berupa logam disebut juga dengan *metal matrix composite* (MMC).

*Metal matrix composite* (MMC) adalah bahan yang terdiri dari paduan logam yang diperkuat dengan serat, *whiskers*, atau partikel.

MMC dibuat untuk menggabungkan sifat yang diinginkan dari logam dan keramik. Contohnya adalah logam seperti aluminium dan Silika Karbida dan biasanya disebut dengan *aluminium matrix composite* (AMC) [3].

*Aluminium matrix composite* (AMC) merupakan salah satu material yang memiliki potensi besar karena kombinasi sifat-sifatnya yang baik, seperti kekuatan yang tinggi, densitas yang rendah, daya tahan yang baik, mampu *dimachining*, ketersediaan bahan baku yang berlimpah dan harga yang mampu bersaing dengan material lain. Pada aplikasinya, AMC telah banyak digunakan di bidang otomotif, pertambangan, penerbangan, pertahanan dan lain sebagainya. Material AMC pada beberapa komponen dituntut untuk mampu diaplikasikan pada tegangan tinggi, contohnya seperti di bidang otomotif yaitu sebagai komponen *drive shaft* dan piston [4] Material komposit bermatriks aluminium diproduksi dengan metode *stirr casting*. Produksi material komposit dengan *stirr casting* memiliki permasalahan yaitu *wettability*. *Wettability* bisa didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk membasahi semua

<https://dx.doi.org/10.20961/mekanika.v19i1.40248>

Submitted February 2020; Revised March 2020; Published March 2020

© Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika. All right reserved.

permukaan material padat. *Wettability* yang buruk mengakibatkan distribusi partikel *reinforcement* tidak seragam. Distribusi *reinforcement* yang tidak seragam mengakibatkan kekuatan material tidak maksimal [5]. Penambahan Mg sebagai *wetting agent* bisa meningkatkan *wettability*, namun penambahan Mg yang melebihi 1% akan meningkatkan viskositas dan mengurangi kemampuan penyebaran partikel [6].

Permasalahan utama dari komposit matrik keramik SiO<sub>2</sub>/ Si adalah sulitnya silika berinfiltrasi ke keramik SiO<sub>2</sub> [7]. Hal ini dikarenakan pada permulaan oksidasi dipermukaan aluminium akan terbentuk lapisan tipis yang sangat stabil dan tidak mudah ditembus. Mg ditambahkan karena memiliki reaktifitas yang tinggi dan energi bebas yang kecil untuk terjadinya oksidasi lebih lanjut yang dapat menaikkan penetrasi kapilaritas pada lapisan oksida dan mempermudah terbentuknya *interface* juga mempengaruhi tegangan permukaan dan menurunkan sudut kontak [8]. Pelapisan *electroless (electroless coating)* merupakan salah satu metode untuk melapisi partikel SiO<sub>2</sub> yang diperkuat. Proses ini telah dilakukan untuk melapisi SiO<sub>2</sub> dengan larutan elektrolit yang mengandung asam nitrida (HNO<sub>3</sub>), Al dan Mg serbuk. Lapisan oksida logam fase spinel (AlSiO<sub>2</sub>) terbentuk pada permukaan SiO<sub>2</sub> yang dapat meningkatkan keterbasahan SiO<sub>2</sub>. Penambahan serbuk Mg ke dalam larutan pun beragam dari 0,002 sampai 0,012 mol sedangkan bubuk Al dijaga konstan *i*, e. 0,018 mol. Efek Mg pada pembentukan lapisan oksida logam pada partikel SiO<sub>2</sub> telah dipelajari. Ditemukan bahwa penambahan 0,004 mol Al menghasilkan lapisan spinel tipis homogen (AlSiO<sub>2</sub>) pada permukaan SiO<sub>2</sub> partikel. Kondisi ini diaplikasikan untuk membentuk lapisan spinel pada partikel SiO<sub>2</sub> yang diperkuat untuk pembuatannya Komposit Aluminium Matrix (AMC) dengan 9% fraksi berat partikel SiO<sub>2</sub> diperkuat [9]

Dari percobaan yang sudah lakukan oleh (Akbar ,2018) perlakuan *electroless coating* pada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat meningkatkan *wettability* dari partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada *matrix* aluminium 6061 [10]. Proses *Electroless coating* yaitu menambahkan (% berat) Magnesium untuk melapisi partikel silika kedalam larutan HNO<sub>3</sub> pada Konsentrasi 65%. Diketahui bahwa penguat SiO<sub>2</sub> pada proses *electroless coating* partikel SiO<sub>2</sub> dengan larutan elektrolit (HNO<sub>3</sub>+Al+Mg)

dapat meningkatkan *wettability* dari SiO<sub>2</sub> dengan membentuk fasa spinel (Al SiO<sub>2</sub>).

(Suyanto, 2014) 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* [11]. *Semi solid stir casting* dilakukan untuk mempermudah pencampuran antara matriks dengan partikel penguat. Penambahan serbuk Mg yang berfungsi sebagai *wetting agent* bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar muka antara matriks aluminium dengan penguat SiO<sub>2</sub> agar keduanya dapat terikat sehingga penyebaran penguat SiO<sub>2</sub> akan merata dan semakin homogen. Maka perlu diketahui pengaruh *electroless coating* terhadap *wettability*, nilai tarik dan nilai impak pada material komposit AlSiO<sub>2</sub> dengan proses *stir casting*.



Gambar 1. Photo alat *Stir Casting*

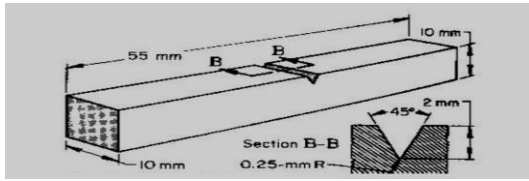
## METODOLOGI PENELITIAN

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah *remelting* piston kendaraan bekas. Material *remelting* piston dilakukan uji komposisi untuk mengetahui kandungan unsurnya. Gambar 2 menunjukkan material *remelting* piston yang telah dilakukan uji komposisi /spektrometri. Variasi yang dilakukan penambahan kecepatan pengadukan yang digunakan yakni 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm.

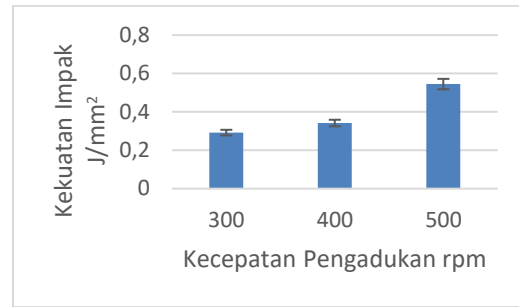


Gambar 2. Remelting piston bekas

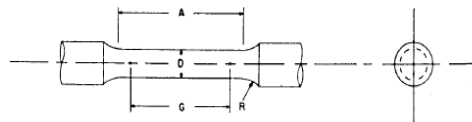
a) Pengujian Impak



Gambar 3. Skema spesimen impak [14]



Gambar 5. Grafik kecepatan pengadukan terhadap kekuatan impak.



Dimensions, mm [in.]  
For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter [E8]

	Small-Size Specimer		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
G—Gage length	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	38.0 ± 0.1 [1.496 ± 0.005]	24.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]

Gambar 4. Skema spesimen tarik [15]

Material *remelting* piston dipanaskan ke dalam tungku *resistance* hingga mencapai temperatur 650 °C. Penambahan magnesium dan SiO<sub>2</sub> dilakukan pada saat melakukan proses *stiring*. Proses *stiring* dilakukan pada temperatur 650 °C dengan kecepatan *stir* 300 rpm, 400 rpm dan 500 rpm selama 5 menit. Setelah proses *stir*, cairan aluminium yang telah ditambahkan Mg dan SiO<sub>2</sub> dinaikkan temperaturnya hingga mencapai temperatur penuangan yakni 725 °C. Pengujian Impak yang dilakukan menggunakan metode impak *charpy*. Untuk pengujian impak mengacu pada ASTM E23-2 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3. Pengujian tarik menggunakan mesin UTM. Sedangkan untuk spesimen pengujian tarik mengacu pada ASTM E8 seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.

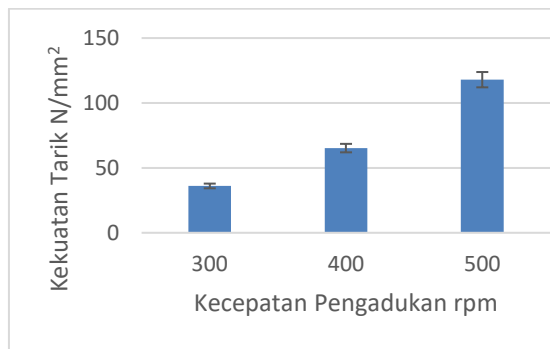
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Gambar 7 menunjukkan bahwa kekuatan impak naik seiring dengan penambahan kecepatan pengadukan sampai batas tertentu. Komposit aluminium berpenguat pasir silika dengan bahan tambah Mg pada kecepatan pengadukan 300 rpm dengan temperatur tuang 725 °C memiliki kekuatan impak sebesar 0,292 J/mm<sup>2</sup>, setelah dilakukan penambahan kecepatan pengadukan 400 rpm dengan temperatur penuangan yang sama kekuatan impak akan naik menjadi 0,432 J/mm<sup>2</sup> dan dengan bertambahnya kecepatan pengadukan 500 rpm menjadi 0,545 J/mm<sup>2</sup>. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada kecepatan pengadukan 500 rpm dengan temperatur penuangan yang sama, masing-masing memiliki nilai kekuatan impak yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan pengadukan yang lain. Hal ini sesuai dengan penelitian (Haque,2014) dimana peningkatan kecepatan pengadukan akan meningkatkan kekuatan impak sampai batas tertentu [12]. Penurunan kekuatan impak pada komposit disebabkan kecenderungan spesimen yang mudah patah. Hal ini disebabkan karena pada saat temperatur naik maka porositas aluminium akan naik [9]. (Mathur,2013) melakukan penelitian bahwa pengetahuan tentang temperatur leleh dari metal dan paduannya sangat dibutuhkan untuk memberikan informasi mengenai temperatur penuangan yang tepat sehingga menghasilkan sifat material yang optimal [13]. Penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi rpm maka semakin banyak jumlah porositasnya, karena semakin tinggi putaran maka semakin banyak udara yang terjebak selama proses pengadukan [26].

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 persebaran partikel penguat pada matriks, semakin besar juga nilai kekuatan impak pada komposit [16]. Variabel kecepatan pengadukan dan temperatur penguangan memiliki efek signifikan pada variabel output seperti kekerasan dan kekuatan impak pada Aluminium paduan [14].

### b) Pengujian Tarik

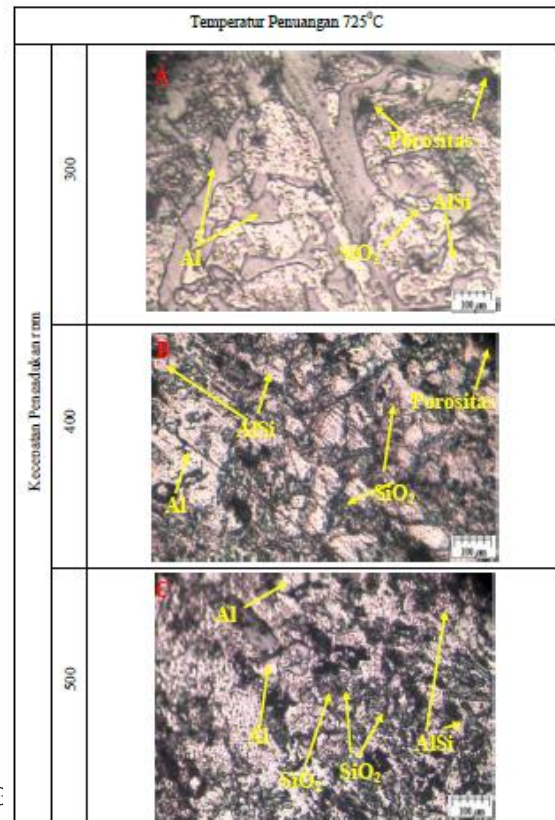


Gambar 6 Grafik kecepatan pengadukan terhadap kekuatan tarik

Data hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada kecepatan pengadukan dengan kecepatan yang berbeda, masing-masing memiliki nilai kekuatan tarik tinggi pada 500 rpm dibandingkan dengan kecepatan pengadukan 300 rpm dan 400 rpm. Hal ini disebabkan pada kecepatan pengadukan 500 rpm tersebut ukuran butir menjadi lebih kecil dan distribusi atom semakin tersebar merata, dengan kata lain pengadukan kecepatan yang tinggi akan memberikan semakin banyak waktu untuk membentuk partikel partikel menjadi kecil dan menyebar merata di bagian matriksnya [27].

### c) Data Hasil Uji Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan material sisa pengujian kekuatan tarik. Pada struktur mikro dilihat perbedaan komposisi dari masing-masing variasi uji yang dilakukan. Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian struktur mikro paduan Al-Si.



c.) variasi 500 rpm

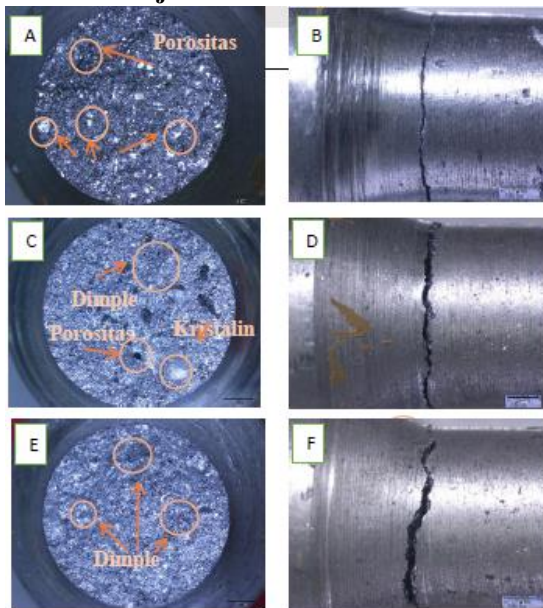
Gambar 7 (A) adalah gambar struktur mikro aluminium dengan fraksi massa  $\text{SiO}_2$  9% dan penambahan Mg 2,5% yang menggunakan kecepatan pengadukan 300 rpm serta temperatur penguangan  $725^\circ$ , dan persebaran partikelnya kurang merata dimana parameter pengadukan mempengaruhi persebaran dan ukuran butiran partikel penguat. Selanjutnya dengan penambahan kecepatan pengadukan menjadi 400 rpm ternyata persebaran penguat semakin merata. Hal ini dapat dilihat pada gambar 7 (B).

Semakin jelas bahwa kecepatan pengadukan adalah parameter proses yang penting karena pengadukan diperlukan untuk membantu dalam meningkatkan kemampuan basah. Begitu juga dengan penambahan kecepatan pengadukan 500 rpm persebaran semakin merata. Hal ini dapat dilihat pada gambar 7 (C). Pada saat melakukan proses pengadukan dalam fabrikasi komposit yang dilakukan pada lelehan aluminium berpotensi membuat partikel penyebaran partikel merata. Karena sebelumnya dilakukan proses *coating* pada  $\text{SiO}_2$  yang membuat terbentuknya lapisan spinel tipis homogen pada  $\text{AlSiO}_2$  pada permukaan  $\text{SiO}_2$  partikel [9] Pada saat melakukan proses *stir* dengan kecepatan 500



rpm  $\text{SiO}_2$  yang tercampur dengan aluminium cair akan mudah mengikat karena sebelumnya dilakukan proses *coating* sehingga memudahkan partikel  $\text{SiO}_2$  menyebar merata dan membentuk  $\text{AlSiO}_2$  dan menaikkan nilai kekuatan tarik dari komposit [23]. Pada temperatur penuangan  $725^\circ\text{C}$  terlihat semakin kecilnya ukuran butir dan pembentukan batas butir yang lebih merata dibandingkan dengan kecepatan 300 rpm dan 400 rpm.

#### d) Data Hasil Uji Makro



Gambar 8. Pengujian struktur makro patahan; A dan B variasi 300 rpm ; C dan D variasi 400 rpm ; E dan F variasi 500

Dapat dilihat pada Gambar 8 hasil pengujian foto makro pada penampang patahan menunjukkan komposit Al-Si-Mg dengan variasi kecepatan putaran dan *electroless coating* memiliki sifat patahan ulet dan patahan getas. Patahan ulet melibatkan mekanisme pergeseran bidang-bidang kristal di dalam logam yang ulet (*ductile*), jenis patahan ini ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk *dimple* yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram. Sedangkan patahan getas dihasilkan dari mekanisme pembelahan (*cleavage*) pada butir-butir dari logam yang rapuh (*brittle*). Patahan ini ditandai dengan permukaan patahan yang datar dan mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi atau biasa disebut kristalin [17]. Gambar 8 (A) dan (B) menunjukkan penampang patahan komposit Al-Si dengan penambahan fraksi volume 2,5% Mg, variasi kecepatan putar 300 rpm dan temperatur tuang  $725^\circ\text{C}$ . Gambar 8 (A) dan (B)

merupakan patahan getas dikarenakan banyak sekali kristalin dan porositas. Gambar 8 (C) dan (D) menunjukkan patahan campuran (menuju patahan ulet), dimana ditandai dengan *kristalin* yang sedikit, serta *dimple* mulai tampak dan semakin tersebar. Gambar 8 (C) dan (D) menunjukkan penampang komposit dengan kecepatan pengadukan 400 Rpm. Pada gambar 8 (E) dan (F) merupakan komposit Al-Si-Mg variasi temperatur tuang  $725^\circ\text{C}$  dengan kecepatan pengadukan 500 Rpm yang menunjukkan patahan ulet, dimana ditandai dengan permukaan patahan yang menunjukkan adanya beberapa *dimple* (bagian yang menyerap cahaya) berukuran besar dan adanya *kristalin* yang semakin sedikit (bagian yang memantulkan cahaya). Hal ini menunjukkan terjadinya aliran plastis yang cukup besar sebelum perpatahan sehingga dapat digolongkan menjadi patahan ulet, sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Kusumo,2012) tentang analisa patahan pada komposit Al-Si [18]. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hasrin tentang analisa patahan, dimana patahan getas dihasilkan dari mekanisme pembelahan pada butir-butir dari logam yang rapuh, ditandai dengan permukaan patahan yang rata [26]

#### KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai kekuatan impak dan tarik dari komposit matriks aluminium akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan. Hal ini dapat dilihat dari foto makro pada kecepatan pengadukan 300 rpm, 400 rpm sampai 500 rpm yang menunjukkan nilai paling tinggi di perputaran pengadukan 500 rpm yaitu untuk rata rata kekuatan tarik  $117,88 \text{ N/mm}^2$  dan untuk rata rata kekuatan impak  $0,545 \text{ J/mm}^2$ .
2. Struktur mikro memperlihatkan persebaran partikel penguat yang semakin merata pada proses komposit yang mengalami kecepatan pengadukan 500 rpm . Dapat dilihat dari *kristalin* yang semakin berkurang, serta *dimple* yang besar sehingga menunjukkan penampang patahan mengalami patahan ulet. Hal itu tidak lepas dari efek semakin bertambahnya kecepatan pengadukan dan dilakukannya proses *elektroless coating* pada  $\text{SiO}_2$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. Daulay, "Pengaruh Ukuran Partikel dan Komposisi Terhadap Sifat Bentur Kekuatan Komposit Epoksi Berpenguat Serat Daun Nanas." *Jurnal Teknik Kimia USU Medan*, Vol. 3, No. 3, 2014.
- [2] M.K. Ajiriyanto, "Fabrikasi komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coated dengan metode *stir casting* dan karakteristiknya" Universitas Indonesia. 2010.
- [3] S.N. Aqida, M.I. Ghazali, J. Hashim, G.B.V. Kumar, C.S.P. Rao, N. Selvaraj, M.S. Bhagyashekar, "Effects of Porosity on Mechanical Properties of Metal Matrix Composite: an Overview," *Jurnal Teknologi*, 2004
- [4] Yudi Prasetyo, "Komposit Aluminium untuk Aplikasi Tegangan Tinggi" Alumunium Matrix Composite, 2012.
- [5] L.A. Yolshina, A.G. Kvashincher, "Chemical Introduction of Liquid Alumunium with Metal Oxide in Molten Salt" *Materials and Design 105*, pp 1234-132, 2016.
- [6] J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, "The enhancement of wettability of SiC particles in cast aluminium matrix composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 119, 2001.
- [7] G.N. A. Sahari, Anne Zulfia and Eddy S. Siradj "Pengaruh Mg Terhadap Kekerasan komposit Matriks Keramik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al" *Makara, SAINS*, vol. 13, no. 1, pp. 39-44, 2009.
- [8] Seputro Harjo. "Analisa Pengaruh Variasi (% Berat) Magnesium dan Proses Planting Abu Dasar Batubara Terhadap Densitas dan Porositas Bahan Propeler dari Komposit Alumunium – Abu Dasar Batubara," *Jurnal Mekanika Jurnal Teknik Mesin*, vol 1, no. 2, 2015.
- [9] V.R. Rao, J.R. Chowdary, A. Balaji, D.S. Krishna, B.P.R. Bhavabhuthi, G. Sreevatsava, K. Abhiram, "A Review on Properties of Aluminium Based Metal Matrix Composites via Stir Casting" *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7, 2016.
- [10] H.I. Akbar, E. Surojo, and D. Ariawan, "Effect of Quencing Agent on dimension stability of Al 6061-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>" *MATEC Web of Conferens* Vol. 159, 2018.
- [11] Suyanto, Sulardjaka, Sri Nugroho, "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., 2014.
- [12] S. Haque, A.H. Ansari, P.K. Bharti, "Effect of Pouring Temperature And Stirring Speed on Mechanical, Microstructure And Machinig Properties of AL6061-Cu Reinforced SiC<sub>p</sub> Metal Matrix Composites," *IJRET*, vol. 3, no 10, 2014.
- [13] S. Mathur, A. Barnawal, "Effect of Process Parameter of Stir Casting on Metal Matrix Composites," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 2, 2013.
- [14] ASTM Int'l, "ASTM-E23 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials," 2007
- [15] ASTM Int., "ASTM E8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials," 2009.
- [16] R.S. Rana, R. Purohit, S. Das, "Reviews on The Influences of Alloying Elements on The Microstructure And Mechanical Properties of Aluminum Alloys And Aluminum Alloy Composites," *Int. J. Sci. Res. Publ.* vol. 2, 2012.
- [17] Hasrin, "Analisa Perpatahan Baja ST 60 Yang Dikenai Beban Impak Charpy," Politeknik Negeri Lhokseumawe, Medan., 2013.
- [18] G.A. Kusumo, P.J. Widodo, W.P. Raharjo, "Impak Dan Struktur Mikro Pada Komposit Matrik Aluminium Menggunakan Metode Stri Casting," Universitas Sebelas Maret Surakarta, 2012.