

# Analisis pengaruh variasi ukuran impeler pengaduk terhadap kekerasan, kekuatan *bending* dan densitas *aluminium matrix composite* (AMC) dengan metode *stir casting*

Okta Kurniawan Andryanto<sup>1</sup>, Teguh Triyono<sup>2</sup>, Agung Tri Wijayanta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

<sup>2</sup>Staf Pengajar, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami No.36 A, Pucangsawit, Jebres, Surakarta 57126

Email korespondensi: teguhtriyono@staff.uns.ac.id

---

## Abstrak

Perkembangan sains dan teknologi di dunia industri, khususnya manufaktur di Indonesia saat ini membutuhkan jenis material terbaru. Aluminium matrix composite (AMC) adalah salah satu dari banyak jenis teknologi metode komposit yang digunakan. Pada *stir casting*, ukuran dari impeler pengaduk adalah salah satu parameter yang mempengaruhi hasil dari pengecoran. Kajian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh dari ukuran impeler pengaduk pada kekerasan, kekuatan *bending* dan densitas dari komposit. Proses pembuatan aluminium matrix composite menggunakan metode *stir casting* dengan variasi pada ukuran impeler pengaduk yakni 90, 100 dan 110 mm. Kecepatan pengadukan yakni 400 rpm selama 5 menit pada suhu semi-solid. Fraksi volume dari pasir silika yang digunakan adalah 9% dan penambahan Magnesium dengan fraksi volume sebesar 2,5% dan 725°C untuk suhu pengecoran. Semakin besar ukuran impeler pengaduk akan menyebabkan penguatan partikel terpusatkan di tengah dan menggumpal di bawah pengaduk. Gumpalan tersebut menyebabkan penguatan partikel tidak terdistribusi secara merata, sehingga kekuatan mekanik akan berkurang. Nilai tertinggi didapatkan pada uji kekerasan, *bending* dan densitas pada ukuran impeler pengaduk sebesar 90 mm (90,87 HBN, 205,44 MPa dan 2,67 g/cm<sup>3</sup>).

**Kata kunci:** *stir casting*, AMC, impeler pengaduk, magnesium, SiO<sub>2</sub>.

## Abstract

The development of science and technology in the industrial world, especially manufacturing in Indonesia now requires the latest types of material. Aluminium matrix composite (AMC), is one of the most widely used composite technology methods. In *stir casting*, the size of the stirrer impeller is one of the parameters that influence the results of the castings. This study aims to determine the effect of the size of the stirrer impeller on the hardness, bending strength, and density of the composite. The process of making aluminum matrix composites using the *stir casting* method with variations is the stirrer impeller size 90, 100, 110 mm. It is stirring speed 400 rpm for 5 minutes at semi-solid temperature. The volume fraction of silica sand used was 9% and the addition of Magnesium with a volume fraction of 2.5% also 725°C of casting temperature. The larger the size of the stirrer impeller will cause the reinforcing particles to be concentrated in the middle and clump under the stirrer. This clump causes the reinforcing particles are not distributed uniformly so that their mechanical strength will decrease. The highest value obtained in the hard, bending, and density test is obtained at 90 mm stirrer impeller size (90.87 HBN, 205.44 MPa, and 2.67 g/cm<sup>3</sup>).

**Keywords:** *stir casting*, AMC, stirrer impeller, magnesium, SiO<sub>2</sub>.

---

## 1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dalam dunia industri khususnya dalam bidang otomotif maka penggunaan aluminium terus meningkat. Banyak komponen otomotif yang terbuat dari aluminium, diantaranya blok mesin, *cylinder head*, *valve*, dan lain sebagainya. Saat ini, di Indonesia membutuhkan jenis material terbaru dikarenakan tuntutan akan kebutuhan paduan aluminium yang terus meningkat dan keterbatasan biji aluminium yang ada. Pemanfaatan limbah atau menggabungkan dua material logam dengan material non logam seperti

menggunakan metode teknologi material komposit dapat menjadi solusinya.

Dengan menggabungkan dua sifat material yang berbeda membuat material komposit sangat banyak digunakan pada bidang industri. Industri pesawat terbang, perkapalan serta kebutuhan perlengkapan aplikasi baru dalam industri otomotif, merupakan contoh industri yang mengaplikasikan material jenis terbaru dengan menggunakan material yang memiliki sifat berdensitas rendah, kuat, tahan karat, tahan terhadap keausan dan *fatigue*. Selain itu komposit bersifat ekonomis sehingga sangat efisien sebagai bahan baku untuk industri.

Komposit merupakan bentuk material baru yang dibuat dengan cara menggabungkan dua sifat material atau lebih, dengan mempertahankan sifat karakteristiknya masing-masing yang berbeda [1]. Salah satu jenis komposit adalah *metal matrix composite* (MMC), memadukan sifat mekanik matriks paduan (ulet dan tangguh) dan campuran penguat yang memiliki kekerasan tinggi. *Aluminium matrix composite* (AMC), adalah salah satu metode teknologi komposit yang banyak digunakan pada MMC. Penambahan penguat ke dalam matriks akan meningkatkan kekakuan, kekuatan spesifik, keausan, *creep* dan sifat kelelahan dibandingkan dengan bahan rekayasa konvensional [2].

Aluminium adalah jenis logam yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam [3]. Namun aluminium memiliki kekuatan dan kekerasan yang rendah. Oleh karena itu, dibutuhkan penguat yang memiliki kekuatan dan kekerasan yang tinggi dan dapat berkaitan dengan aluminium serta tidak menyebabkan oksidasi pada logam aluminium. Silikon dioksida dengan rumus kimia  $\text{SiO}_2$  yang telah dikenal sejak zaman dahulu karena kekerasannya. Silika ini paling sering ditemukan di alam sebagai pasir atau kuarsa, serta di dinding sel diatom [4]. Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) memiliki kekerasan, sifat tahan aus, ketahanan termal dan kekakuan yang tinggi. Material silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) digunakan sebagai penguat dan dipadukan dengan aluminium sebagai matrik maka akan dapat dihasilkan komposit yang memiliki kekuatan serta ketahanan korosi tinggi, ringan serta *machinability* yang baik [5].

*Wettability* adalah istilah untuk menjelaskan adhesi relatif dua buah fluida terhadap sebuah permukaan benda padat [6], atau dapat didefinisikan sebagai kemampuan cairan untuk menyebar membasahi permukaan material padat. Pembasahan yang tidak sempurna menyebabkan terjadinya penggumpalan  $\text{SiC}$ , sehingga partikel silikon karbida tidak terdistribusi secara merata [7]. Cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan *wettability* partikel yaitu dengan menambahkan elemen pengaktif permukaan ke dalam matriks semisal unsur magnesium (Mg), pelapisan atau oksidasi partikel keramik, pembersihan partikel, dan perlakuan *preheat* pada partikel [6].

Pada metode *stir casting* parameter yang berpengaruh terhadap hasil coran adalah ukuran serbuk atau partikel keramik, ukuran impeler pengaduk, suhu logam cair, waktu pengadukan, kecepatan pengadukan, kecepatan pemakanan partikel ke dalam campuran secara kontinu dan dengan laju yang seragam, serta suhu cetakan [8]. Kecepatan dan ukuran pengaduk merupakan parameter proses yang penting karena diperlukan untuk membantu meningkatkan *wettability* [9].

Kajian dengan berbagai variasi tentang pembuatan AMC dengan metode *stir casting* telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu. Akan tetapi kajian dengan variasi ukuran impeler pengaduk belum pernah diteliti sebelumnya. Oleh karena itu dilakukan kajian dengan merubah ukuran impeler pengaduk, bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran pengaduk terhadap sifat fisik dan mekanik *aluminium matrix composite* (AMC).

## 2. Metode

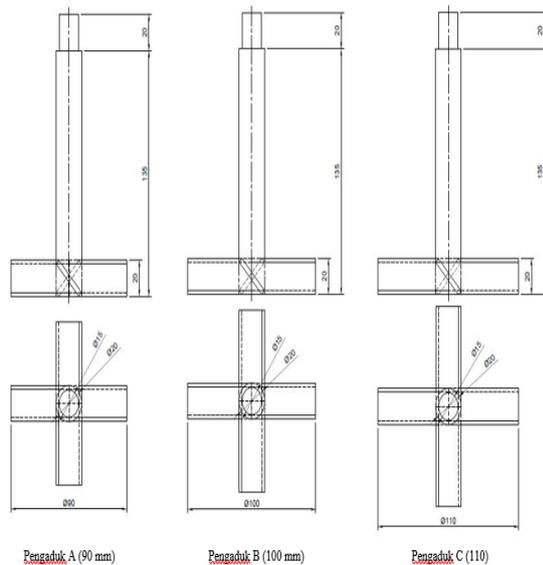
Tungku peleburan (Gambar 1) adalah alat untuk proses peleburan logam aluminium yang terbuat dari material besi tuang kelabu dengan titik leleh sebesar  $1260^\circ\text{C}$ . Tungku untuk fabrikasi komposit ini memiliki diameter dalam yaitu 165 mm dengan kedalaman 200 mm dan mempunyai ketebalan 10 mm.



Gambar 1. Tungku peleburan.

Tiga buah elemen pemanas (*heater*) digunakan untuk sumber pemanas tungku peleburan dengan daya total sebesar 4500 Watt yang dapat diatur suhu dan waktu peleburannya dengan *controller*.

Kajian ini menggunakan tiga buah impeler pengaduk (Gambar 2) untuk variasinya, impeler pengaduk A mempunyai diameter 90 mm, impeler pengaduk B mempunyai diameter 100 mm, dan impeler pengaduk C berdiameter 110 mm. Tiga impeler pengaduk tersebut terbuat dari besi tuang kelabu yang mempunyai titik lebur  $1260^\circ\text{C}$ , tangkai pengaduk berbentuk poros dengan diameter 20 mm dan panjang tangkai 155 mm. Ujung pengaduk terdapat empat buah sudu dengan sudut sudu  $45^\circ$ .



Gambar 2. Impeler pengaduk A, B dan C.

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta memiliki sifat-sifat yang baik lainnya. Aluminium mempunyai sifat fisis dan mekanis (Tabel 1), antara lain massa jenis  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  serta memiliki titik leleh sampai  $660^\circ\text{C}$  ( $1220^\circ\text{F}$ ), aluminium dan paduannya cenderung memiliki sifat keuletan yang tinggi. Berat jenis yang rendah, aluminium sangat cocok untuk bahan konstruksi, meskipun kekuatan dari aluminium murni agak rendah akan tetapi kekuatan itu dapat ditingkatkan dengan menambah unsur paduan aluminium tersebut sehingga kekuatannya mendekati kekuatan yang dimiliki baja konstruksi, yaitu dengan menambah unsur paduan tembaga (Cu), silikon (Si), magnesium (Mg), mangan (Mn) dan sejenisnya [10].

Kajian ini digunakan aluminium dari bahan piston bekas kendaraan bermotor yang telah di-remelting dengan unsur paduan seperti ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Komposisi unsur paduan pada remelting piston bekas.

Remelting piston bekas						
Unsur	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
%	81,48	15,3	0,741	0,113	0,107	<0,05

Silikon dioksida atau silika adalah salah satu senyawa kimia yang paling umum. Silika murni terdapat dalam dua bentuk yaitu kuarsa dan kristobalit. Silikon selalu terikat secara tetrahedral kepada empat atom oksigen, namun ikatan-ikatannya mempunyai sifat yang cukup ionik. Dalam kristobalit, atom-atom silikon ditempatkan seperti halnya atom-atom karbon dalam intan dengan atom-atom oksigen berada di tengah dari setiap pasangan. Dalam kuarsa terdapat heliks

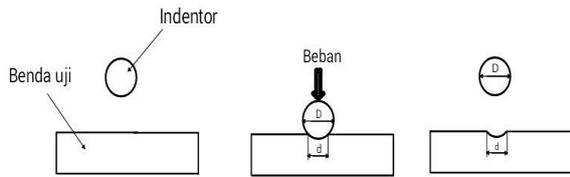
sehingga terbentuk kristal enansiomorf [11]. Silikon dioksida adalah salah satu senyawa kimia yang paling umum digunakan dalam paduan aluminium. Hal ini dikarenakan penambahan unsur silikon dapat meningkatkan karakteristik pengecoran, serta ketahanan retak terhadap panas.

Magnesium adalah unsur yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada kondisi perlakuan panas. Pembuatan komposit, magnesium (Mg) berfungsi sebagai *wetting agent* untuk meningkatkan pembasahan antara matrik dan penguat dengan cara menurunkan tegangan permukaan antara keduanya dan menghaluskan butiran kristal secara efektif pada aluminium. Selain itu, Mg juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi paduannya, namun menurunkan sifat mampu cor. Penambahan magnesium (Mg) digunakan untuk meningkatkan daya lekat dan mampu basah antar material komposit dan menghaluskan butir. Mg yang digunakan yakni jenis Mg dengan kadar kemurnian sebesar 98,5%, supaya paduan cepat tercampur magnesium (Mg) yang digunakan berupa serbuk.

Menyiapkan aluminium untuk fraksi massa 88,5%,  $\text{SiO}_2$  9%, dan Mg 2,5%. Mempersiapkan leburan aluminium pada suhu  $650^\circ\text{C}$ , memasukkan serbuk  $\text{SiO}_2$  dan Mg secara bersamaan ke dalam lelehan aluminium, diaduk dengan variasi impeler pengaduk A, B, dan C secara bergantian, kecepatan 400 rpm selama 5 menit pada suhu  $650^\circ\text{C}$ , setelah itu penuangan pada suhu  $725^\circ\text{C}$  ke dalam cetakan, setelah mengeras lepaskan komposit Al/ $\text{SiO}_2$  dari cetakan. Spesimen yang telah jadi akan diuji kekerasan, *bending*, dan densitas.

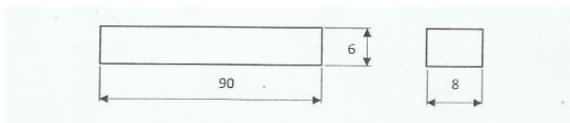
Untuk mengetahui sifat-sifat dan kemampuan suatu material maka perlu dilakukan pengujian, salah satunya yaitu pengujian sifat fisis (densitas, porositas). Densitas adalah pengukuran massa setiap volume benda, semakin tinggi densitas suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan volumenya [12]. Menurut Hukum Archimedes bahwa berat sebuah benda adalah sama dengan berat air yang dipindahkan. Dari prinsip itulah maka untuk mengetahui berat jenis atau densitas sebuah material dapat dilakukan penimbangan material tersebut di udara dan di air.

Kajian ini dilakukan pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan standar pengujian ASTM E10. Untuk pengujian kekerasan dilakukan pada 3 titik yang berbeda untuk setiap parameter percobaan yang berbeda. Bentuk spesimen dibuat silindris dan permukaannya diampelas hingga rata dan halus. Indentor yang digunakan berupa bola baja dengan diameter 2,5 mm, pembebanan 62,5 kg dan *loading time* 30 detik. Gambar 3 menunjukkan cara pengukuran uji keras Brinell.



Gambar 3. Skema pengujian kekerasan Brinell [13].

Pengujian *bending* mengacu pada standar ASTM C1161 [14]. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari komposit AlSi. Bentuk spesimen ditunjukkan pada Gambar 4, pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *three point bending* maka penekanan dilakukan sampai titik P maksimum untuk menentukan nilai tegangan *bending* maksimum.



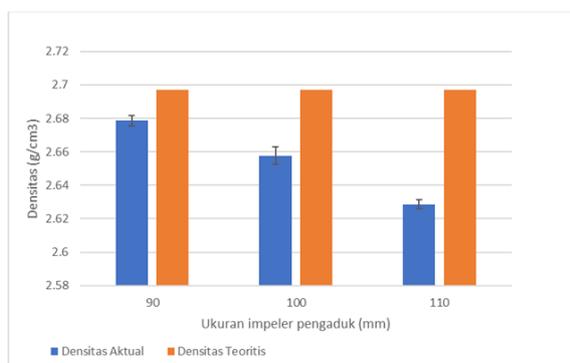
Gambar 4. Spesimen uji bending.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Kajian pembuatan komposit yang menggunakan material Al-pasir silika-Mg dengan metode *stir casting*. Aluminium yang digunakan adalah piston bekas yang telah di-remelting dengan fraksi volume 88,5%, dan menggunakan pasir silika yang memiliki ukuran *mesh* 200 dengan fraksi volume 9%, serta Mg dengan fraksi volume 2,5%. Parameter variasi ukuran impeler pengaduk 90 mm, 100 mm dan 110 mm. Kajian ini dilakukan beberapa pengujian untuk mengetahui sifat mekanis komposit yaitu, uji keras, uji *bending*, dan uji densitas. Data hasil pengujian tersebut dianalisis dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

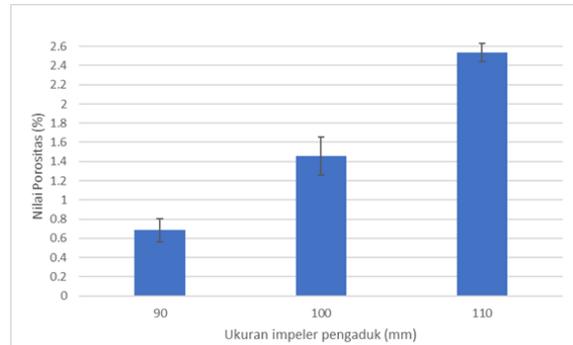
#### *Pengujian Densitas dan Porositas*

Pengujian densitas komposit dengan penguat pasir silika dilakukan dengan menerapkan Hukum Archimedes. Hubungan antara nilai densitas dengan ukuran impeler pengaduk ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan antara nilai densitas terhadap ukuran impeler pengaduk.

Perhitungan porositas komposit aluminium berpenguat pasir silika dengan bahan tambah Mg dihitung menggunakan perbandingan densitas aktual dan densitas teoretis. Gambar 6 menunjukkan grafik hasil perhitungan nilai porositas terhadap ukuran diameter impeler pengaduk.



Gambar 6. Grafik nilai porositas terhadap ukuran diameter impeler pengaduk.

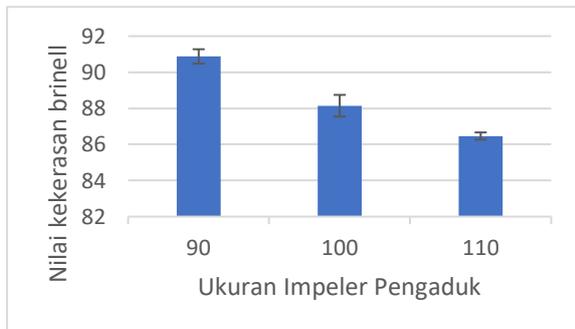
Densitas teoretis terhadap ukuran impeler pengaduk nilainya serupa ( $2,697 \text{ g/cm}^3$ ) karena tidak adanya perubahan fraksi volume dari masing-masing bahan yang digunakan. Perubahan terjadi pada densitas aktual di mana nilai densitasnya berubah disebabkan perubahan ukuran impeler pengaduk ditunjukkan pada Gambar 5. Ukuran impeler pengaduk 90 mm memiliki nilai densitas sebesar  $2,678 \text{ g/cm}^3$ , setelah meningkatnya ukuran impeler pengaduk 100 mm nilai densitasnya menurun menjadi  $2,657 \text{ g/cm}^3$ . Pada ukuran impeler pengaduk 110 mm nilai densitasnya turun menjadi  $2,628 \text{ g/cm}^3$ . Hal ini terjadi karena bertambahnya diameter impeler pengaduk akan mengakibatkan pusaran menjadi lebih besar yang berpotensi menarik gas ke dalam lelehan serta mengakibatkan gas tersebut terjebak di dalam lelehan komposit. Gas yang terjebak ke dalam lelehan komposit akan menjadi porositas dalam komposit, yang mana porositas akan menurunkan nilai mekanis [15].

Gambar 6 menunjukkan perhitungan porositas terhadap ukuran impeler pengaduk, di mana nilai porositas pada ukuran impeler pengaduk 90 mm mempunyai nilai porositas terendah yaitu 0,683 %. Nilai porositasnya meningkat setelah bertambahnya ukuran diameter impeler pengaduk 100 mm sebesar 1,456%. Pada ukuran impeler pengaduk 110 mm nilai porositasnya 2,533%. Hubungan antara densitas dan porositas berbanding terbalik, dapat dilihat dari hasil pengujian densitas dan perhitungan porositas dengan variasi ukuran impeler pengaduk 90 mm memiliki nilai densitas terbesar namun memiliki nilai porositas yang terkecil, begitu juga dengan variasi ukuran impeler pengaduk 110 mm memiliki nilai densitas terkecil namun memiliki nilai porositas terbesar. Semakin tinggi nilai densitas, maka semakin rendah nilai porositasnya [16]. Hasil yang diperoleh diketahui bahwa semakin padat suatu bahan komposit, maka semakin kecil daerah kosong pada

bahan komposit tersebut. Ketika terdapat banyak daerah yang kosong pada komposit maka kerapatan massanya semakin kecil. Porositas pada komposit berpotensi terjadi, karena proses *stir casting* menyebabkan reaksi kimia antara matrik dan partikel penguat yang akan menghasilkan gas dan terjebak selama proses pengadukan yang akan menyebabkan porositas [17].

### Pengujian Keras Brinell

Kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras, maka dalam pengujiannya dilakukan penekanan pada benda uji untuk menghitung nilai kekerasannya. Pengujian keras brinell dilakukan dengan penekanan pada benda uji dengan indenter bola baja berdiameter 2,5 mm, beban yang digunakan 62,5 kg dan waktu penekanan (*loading time*) 30 detik dilakukan sebanyak 3 titik penekanan pada setiap spesimen. Hasil dari pengujian diperoleh grafik hubungan antara nilai kekerasan brinell dengan ukuran impeler pengaduk seperti pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Grafik rata-rata nilai kekerasan brinell terhadap temperatur penuangan dan kecepatan putaran.

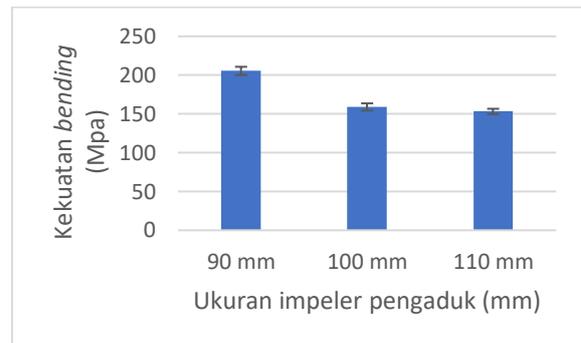
Hasil rata-rata nilai kekerasan brinell pada menunjukkan bahwa nilai kekerasan dari ukuran impeler pengaduk 90 mm ke ukuran impeler pengaduk 100 mm mengalami penurunan dari 90,87 menjadi 88,25. Nilai rata-rata ukuran impeler pengaduk 100 mm ke 110 mm mengalami penurunan dari 88,25 turun menjadi 86,46. Pada grafik yang ditunjukkan Gambar 7, menunjukkan bahwa ukuran impeler pengaduk 90 mm memiliki nilai rata-rata kekerasan tertinggi (90,87) dibandingkan dengan ukuran impeler pengaduk 100 mm (88,25) dan 110 mm (86,46).

Semakin besar ukuran diameter impeler pengaduk menurunkan sifat kekerasan dari komposit. Hal disebabkan karena kepadatan massanya menurun, dapat dilihat pada hasil pengujian densitas (Gambar 5). Nilai densitas berbanding lurus dengan nilai kekerasan komposit (Gambar 7). Di mana nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi ukuran diameter impeler pengaduk 90 mm, dan nilai kekerasan terendah didapat pada variasi ukuran diameter impeler pengaduk 110 mm, begitu juga dengan hasil pengujian densitas. Penurunan nilai kekerasan dikarenakan ukuran diameter impeler yang

semakin besar tidak mampu mendistribusikan partikel penguat secara merata yang menyebabkan penyebaran partikel tidak sempurna, sehingga mengakibatkan kepadatan komposit menurun dan menurunkan nilai kekerasan [20].

### Pengujian Bending

Pengujian *bending* komposit aluminium dengan penguat pasir silika menggunakan standar ASTM C1161. Gambar 8 menunjukkan hubungan antara nilai kekuatan *bending* terhadap ukuran impeler pengaduk.



**Gambar 8.** Grafik nilai kekuatan bending terhadap ukuran impeler.

Nilai rata-rata kekuatan *bending* terhadap ukuran impeler pengaduk mengalami perubahan, di mana kekuatan *bending* mengalami perubahan dengan meningkatnya ukuran diameter impeler pengaduk. Ukuran impeler pengaduk 90 mm memiliki kekuatan *bending* sebesar 205,44 MPa. Kekuatan *bending* menurun sebesar 158,93 MPa dengan meningkatnya ukuran impeler pengaduk 100 mm. Pada ukuran impeler pengaduk 110 mm kekuatan *bending* terjadi penurunan sebesar 153,27 MPa.

Ukuran impeler pengaduk memiliki pengaruh signifikan terhadap komponen yang diproduksi dengan cara *stir casting* [33], semakin bertambahnya ukuran diameter impeler pengaduk maka semakin menurun kekuatan *bending*. Hal ini membuktikan kajian yang dilakukan Sahu bahwa ukuran impeler pengaduk yang optimal adalah 0,5D-0,55D (D = diameter koi), di mana bila ukuran impeler lebih besar dari 0,55D akan menyebabkan partikel penguat terkonsentrasi di tengah dan menggumpal di bawah pengaduk [20].

Kekuatan *bending* (Gambar 8) berbanding terbalik dengan hasil perhitungan porositas komposit, dapat dilihat pada Gambar 6 nilai tertinggi terdapat pada variasi impeler pengaduk 110 mm, kekuatan *bending* yang mempunyai nilai tertinggi terdapat pada variasi ukuran impeler pengaduk 90 mm. Dari hasil yang diperoleh diketahui bahwa diameter impeler pengaduk 90 mm memberikan distribusi penguat pasir silika pada matrik aluminium lebih seragam, sehingga memperkecil sudut kontak dan memperkecil peluang porositas. Semakin bertambahnya nilai porositas akan menurunkan nilai mekanis, sehingga semakin tinggi

porositas maka nilai kekerasannya akan menurun [15].

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ukuran diameter impeler pengaduk semakin besar akan menurunkan nilai keras, *bending*, dan densitas komposit. Ukuran diameter impeler pengaduk yang paling optimal terdapat pada variasi ukuran 90 mm. Hal ini dapat dilihat dari data pengujian, bahwa nilai tertinggi didapat pada variasi diameter impeler pengaduk 90 mm dengan nilai kekerasan 90,87 HBN, *bending* 205,44 MPa, dan densitas 2,67 g/cm<sup>3</sup>.

#### Daftar Pustaka

- [1] F.L. Matthews, R.D. Rawlings, Composite Material Engineering And Science, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, UK, 1993.
- [2] B. Vijaya Ramnath, C. Elanchezian, R.M. Annamalai, S. Aravind, T. Sri Ananda Atreya, V. Vignesh, C. Subramanian, Aluminium Metal Matrix Composites - A Review. ISSN, 2006.
- [3] A. Amir, Junaidi, Pengaruh Parameter Stir Casting Terhadap Sifat Mekanik Aluminium Matrix Composite (AMC). ISSN, 2017.
- [4] J. Heri, A. Syakur, Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai), (2012) 20-37.
- [5] A.K. Apriyanto, M.Z. Arifin, H.I. Lubis, R. Isra, Ekstraksi Silica (SiO<sub>2</sub>) Dari Abu SekamPadi Sebagai Bahan Baku Penguat Komposit Bermatriks Akuminium (AMCs) Untuk Aplikasi Bahan Komponen Otomotif, 2014.
- [6] Suyanto, Sulardjaka, S. Nugroho, Pengaruh Komposisi Mg Dan SiC Terhadap Sifat Kekerasan Komposit Al-SiC Yang Dibuat Dengan Proses Semi Solid Stir Casting, Pros. SNATIF, Semarang, 2014.
- [7] Q. Hadi, M. Isa Dullah, Pengaruh Jenis Bentuk Pengaduk Stiring Blade Terhadap Kehomogenan dan Sifat Mekanik Komposit Al-SiC Dengan Metode Stir Casting Tanpa Pembasahan, 2007.
- [8] Y.H. Seoa, C.G.Kang b, Effects of hot extrusion through a curved die on the mechanical properties of SiC<sub>p</sub>/Al composites fabricated by melt-stirring, ELSEVIER. (1999) 643-654.
- [9] R.G. Bhandare, P.M. Sonawane, Preparation of Aluminium Matrix Composite by Using Stir Casting Method, Int. J. Eng. Adv. Technol, Vol. 3 ISSN (2013) 2249-8958.
- [10] Supriyanto, Analisa Hasil Pengecoran Aluminium Dengan Variasi Media Pendinginan, JANATEKNIKA, Vol. 11, No. 2, 2009.
- [11] W. F.Smith, Principles of Materials Science and Engineering : Third Edition, 3rd ed., 1995.
- [12] Sulardjaka, M.S. Rahman, C. Wahyudianto, Pengaruh Waktu dan Temperatur Sinter Terhadap Densitas Dan Porositas Komposit Aluminium yang Diperkuat Limbah Geothermal, ROTASI Vol. 15, No. 4 (2013).
- [13] F. D. Mu'afax, Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Remelting Al-Si Berbasis Limbah Piston Bekas Dengan Perlakuan Degassing, Universitas Sebelas Maret, 2012.
- [14] K. E. Suwanto, Pengaruh Penambahan Kalsium Oksida dan Serat Karbon Terhadap Sifat Mekanik Komposit Geopolimer, Univeritas Lampung, Bandar Lampung, 2017.
- [15] E.-S.Y. El-Kady, T.S Mahmoud, A.A.-A. Ali, On the Electrical and Thermal Conductivities of Cast A356/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Metal Matrix Nanocomposites, Mater Sci. Appl. 2 (2011) 1180-1187 Doi: 10.4236/msa.2011.29159.
- [16] W. Callister, D. Rethwisch, Materials science and engineering: an introduction, 2007.
- [17] J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi, The Enhancement of Wettability of SiC Particles in Cast Aluminium Matrix Composites, J Master. Process. Technol. 119 (2001) 329-335. Doi: 10.1016/S0924-0136(01)00919-0.
- [18] P. Kumar, V. Tirth, Effect Stirring Speed on Retention of Particles in AA2218-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MMCS Processed by Stir Casting, MIT Int. J. Mech. Eng. 3 (2013) 123-128.
- [19] J. George, S. Janardhanan, S. M T, A Numerical Study on Stir Casting Process in A Metal Matrix Composite Using CFD Approach, AMR. Vol 1119 (2015) 533-541. Doi: 10.4028.
- [20] M.K. Sahu, R.K. Sahu, Optimization of Stirring Parameters Using CFD Simulations for HAMCs Synthesis by Stir Casting Process, IIM (2017) DOI 10.1007/s12666-017-1119-5.