

## PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN PADA PROSES STIRCASTING TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PADUAN ALUMINIUM

**Mochamad Helmi Jauhari**

Mahasiswa  
Universitas Brawijaya  
helmijh@yahoo.com

**Djarot B Darmadi**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
b\_darmadi\_djarot@ub.ac.id

**Teguh Dwi Widodo**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
teguh@ub.ac.id

*The composite material is a material composed of a mixture or combination of two or more of the major elements that macro differ in shape and material composition that basically can not be separated. In this research, the aluminum used was the outcome of production cesspool with the addition of volcanic dust from Mount Kelud by 2% as reinforcement. The stir casting process is the casting process by adding a material (powder form) in pure metal (aluminum), which has been melted and then stirring constantly. After that, the composite materials (the volcanic dust from Mount Kelud) were mixed slowly into the stirred liquid material. In this research, the variations of stirring speed were 0,200,300,400,500 and 600 rpm. The stirring each time for 4 minutes. In this study, the stirring speed in the casting process was 0, 200, 300, 400, 500, and 600 rpm. Tensile test, Impact test, and microstructure observations were carried out on the casting results. From these tests, the highest modulus of elasticity and impact value was obtained at the 600rpm stirring process. It may due to globular grains are more evenly distributed. And the result of metallographic testing was stirring speed could affect the amount and density of composite grain structure. The faster the stirring, the grain structure was getting smaller and close.*

**Keywords:** *Stircasting, Al-Si, Stirring Speed, Impact, Microstructure*

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan suatu material logam saat ini terus mengalami peningkatan, serta penggunaan dalam industri autopart kendaraan yang terus mengalami peningkatan 30% dari tahun 2013-2016 [1]. Perkembangan teknologi otomotif yang besar memerlukan material teknik dan cara produksi yang tepat untuk membuat suatu produk berkualitas baik dan harga yang relatif murah. Maka dari itu di butuhkan suatu material yang memiliki keunggulan sifat mekanik dari material yang sebelumnya namun dengan berat yang lebih ringan. Kebutuhan akan suatu material yang memiliki keunggulan dari suatu material yang masih mengandung unsur baja dapat di capai dengan melakukan pembuatan paduan dari dua material atau lebih.

Penggunaan bagian otomotif dengan kandungan unsur baja atau besi saat ini masih dominan di pakai karena memiliki sifat mekanik yang baik, namun mempunyai kekurangan yaitu ketahanan terhadap korosi kurang baik. Disisi lain aluminium (Al) merupakan material yang memiliki sifat – sifat seperti ringan, murah dan mudah diproduksi serta tahan terhadap korosi [2]. Namun demikian mekanis aluminium masih memerlukan perbaikan karena kekerasannya relatif lebih rendah dan keausannya lebih tinggi bila dibanding sifat – sifat mekanis logam seperti baja atau besi. Perbaikan sifat –sifat aluminium salah satunya dapat dilakukan dengan menambahkan material keramik misalnya partikel silika (Si). Silika memiliki sifat-sifat seperti kekerasan tinggi serta mampu dibasahi cukup baik oleh aluminium sehingga memungkinkan untuk dipadukan [3]. Fabrikasi komposit dengan menggunakan matrik aluminium dengan penguat silika menarik untuk dilakukan penelitian. Material silika (Si) bisa didapat dari silika sintesis dan silika yang diambil dari alam yaitu yang didapat pada saat letusan gunung berapi dengan abu vukaniknya yang biasanya mengeluarkan jutaan kubik, sehingga tidak diperlukan penambangan lagi.

Material komposit adalah campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama secara makroskopik yang berbeda fasa menjadi suatu material baru dengan keunggulan - keunggulan material penyusunnya dengan syarat adanya ikatan antar permukaan [4]. Komposit Aluminium yang cukup banyak digunakan dalam dunia industri adalah Al-Si-Cu-Mg karena sifat mampu tuang dan sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik [5][6]. Salah satu jenis penerapan aluminium paduan adalah *Aluminium Matrix Composite* (AMC). AMC jenis ini yang banyak dikembangkan untuk aplikasi secara struktural pada bidang transportasi, militer, pesawat terbang bahkan sarana olahraga karena sifat mekanik yang unggul [7].

Beberapa metode pengecoran seperti metalurgi serbuk, metode kompaksi dan *stircasting*. Metode metalurgi serbuk dan kompaksi memiliki kelemahan, seperti proses yang sulit, biaya mahal serta masih terdapat porositas tinggi dan kurang homogen hasil coran. Sementara itu metode dengan proses pencampuran matrik dan penguat dilakukan dengan metode *stircasting*, yaitu metode fabrikasi komposit yang lebih murah dibanding yang lainnya [8]. Proses *stircasting* pada logam Al-Si untuk mencapai homogenitas dimana aluminium sebagai matrik dengan penguat abu vulkanik. Dengan waktu dan kecepatan yang dapat di atur untuk mencapai homogenitas yang diinginkan. Teknik metalurgi cair adalah teknik fabrikasi komposit yang lebih ekonomis dibanding metode lain (metalurgi serbuk, kompaksi, ekstruksi dll) [9]. Proses ini dapat meminimalisir terbentuknya cluster-cluster partikel penguat selama proses pengecoran karena dilakukan pengadukan sehingga diharapkan distribusi penguat (abu vulkanik) akan merata (homogen) pada matrik aluminium. Selanjutnya dilakukan pengujian spesimen untuk mengetahui sifat mekanik [10][11].

AMC adalah komposit dengan matrik Aluminium yang di kombinasi dengan penguat (*reinforcement*). AMC dalam komposit matrik logam, maka kombinasi yang terjadi berupa material fasa logam (yang harus bersifat ulet) dengan material penguat berupa keramik (senyawa oksida, karbida dan nitrida) yang biasanya berbentuk partikulat dengan kadar antara 10 – 60% fraksi volum [12]. Aluminium Matrik Composites dengan SiC 10% berhasil dibuat dengan dispersi SiC yang homogen dengan teknik pengadukan pada kondisi semi solid [13]. Komposit matrik Aluminium adalah material gabungan yang kekakuan, kekuatan, densitas, sifat panas dan sifat elektriknya bisa di atur [14].

Atas dasar pengembangan material komposit aluminium yang terus berkembang, dan banyaknya referensi tentang komposit aluminium termasuk penelitian Bhushan dan Kumar [15], hal ini yang mendasari penelitian tentang material komposit aluminium dengan penguat silika abu vulkanik gunung Kelud ini. Penelitian yang dilakukan adalah membuat komposit aluminium dan abu vulkanik dari erupsi gunung Kelud.

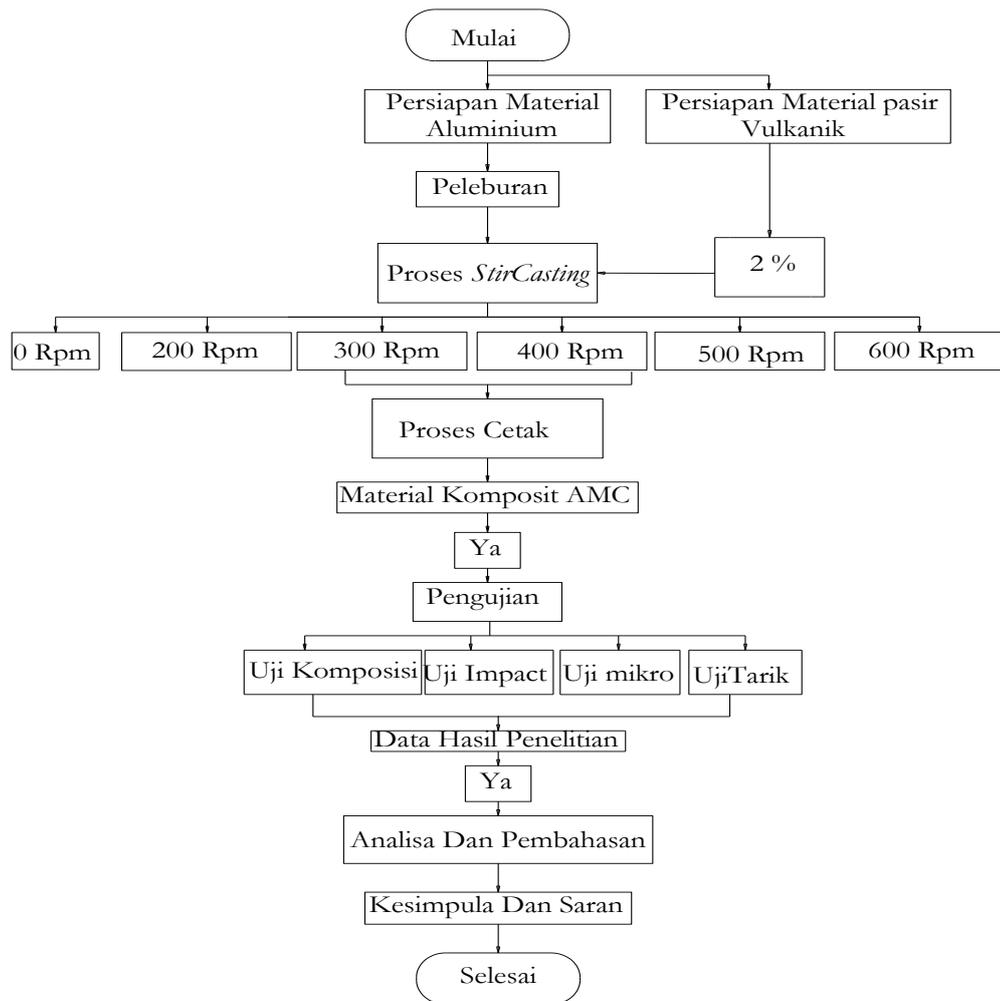
Komposit aluminium yang dilakukan adalah dengan menambahkan abu vulkanik gunung kelud yang memiliki komposisi : silikon, mangan, besi, tembaga, seng, dan lain-lainnya secara satu persatu atau bersama-sama, sehingga dapat memperbaiki sifat aluminium murni, seperti kekuatan tarik, ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah, dan masih banyak lagi.

## 2. METODE DAN BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah scrap aluminium yang selanjutnya di lebur menjadi ingot, dan penguat dari abu vulkanik gunung kelud. Selanjutnya dari ingot aluminium dilebur dengan tungku induksi dengan di campur abu vulkanik sehingga di hasilkan coran paduan AlSi abu vulkanik.

Selanjutnya dilakukan proses peleburan dengan proses *stircasting*, dimana Tahap pertama dalam proses komposit Al-abu vulkanik, bahan (Al) dimasukan kedalam ladle tembikar yang diletakan didalam tungku induksi. Sebelum dituang, cetakan dipanaskan hingga mencapai suhu 250 °C. Suhu peleburan 700 °C, selanjutnya diaduk dengan batang pengaduk dengan berbagai kecepatan aduk dari 0, 200, 300, 400, 500, dan 600 rpm selama 4 menit dengan batang pengaduk. Skema proses *stircasting* dapat dilihat pada Gambar 1.

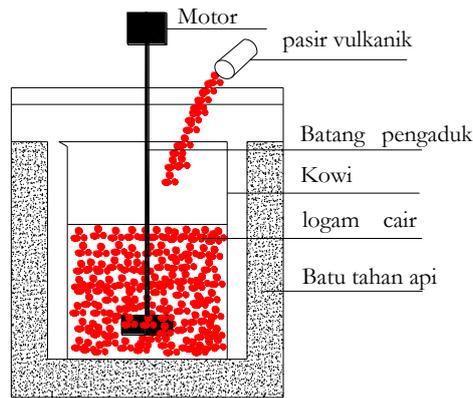
Selanjutnya untuk mengetahui sifat mekanik dari paduan Al-abu vulkanik di uji dengan alat uji dengan pengujian tarik, uji impak dan struktur mikro. Hasil uji komposisi seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

**Tabel 1.** Komposisi hasil *stircasting* dan Komposisi kandungan kimia abu vulkanik

hasil <i>stircasting</i>		kandungan kimia abu vulkanik	
Nama	Jumlah (%)	Nama	Jumlah (%)
Al	87,2	Al	9,6
Si	6,9	Si	38,2
P	0,78	P	0,81
Ca	0,56	Ca	24,5
Ti	0,067	K	1,4
V	0,02	Re	0,4
Cr	0,050	Ti	1,4
Mn	0,097	V	0,05
Fe	1,21	Cr	0,081
Cu	1,65	Mn	0,86
Zn	0,318	Fe	28,2
Eu	0,09	Cu	0,14
		Zn	0,26
		Eu	0,55
		Ba	0,2



**Gambar 2.** Proses *Stircasting*

**2.1. Uji impact**

Mesin uji impact adalah mesin uji untuk mengetahui harga energi (*joule*) impact suatu beban yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. tipe dan bentuk konstruksi mesin uji impact beraneka ragam, yaitu mulai dari jenis konvensional sampai dengan sistem digital yang lebih maju.

Pengujian impact charpy banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji di beri takikan berbentuk V yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai. Pengujian impact dilakukan dengan pembebanan sistem charpy. Pada pembebanan sistem charpy, spesimen diletakkan pada posisi horisontal dan tanpa dijepit, sedangkan pendulum persis mengenai bagian tengah spesimen. Standar ukuran dimensi spesimen uji impact charpy sesuai ASTM E 23.



Besarnya energi yang diperlukan pendulum untuk mematahkan spesimen material komposit adalah :

$$E = W.R (\cos \beta - \cos \alpha) \tag{1}$$

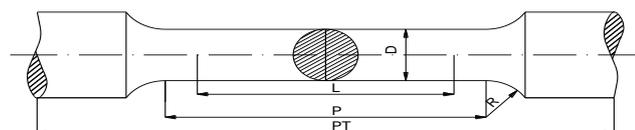
Besarnya energi yang diperlukan pendulum untuk mematahkan spesimen:

$$\text{Ketangguhan impact} = \frac{E}{A} \tag{2}$$

**2.1. Uji tarik**

Umunya pengujian tarik digunakan untuk mengetahui dari suatu material terhadap tarikan. Sifat mekanis tersebut antara lain adalah elastisitas material. Sifat keelastisitasan material sangat penting dalam hal hal merancang suatu komponen atau alat, karena apabila terjadi kesalahan dalam perancangan suatu alat dapat berakibat fatal.

Pada penelitian ini pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji universal model UH – 300 knx sesuai ASTM D8. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik diantaranya *ultimate tensile strength*, *yield stress*, dan *modulus elastisitas*. Spesimen yang digunakan diberi grip pada kedua sisinya, agar tidak terjadi slip atau tergelincir ketika ditarik. Adapun secara spesifik sesuai ASTM D8 seperti di tunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Ukuran Spesimen uji tarik

Keterangan : L = 35,6 mm, D = 8,9 mm, P = 44,5 mm, R = 6,4 mm

## 2.2. Analisa struktur mikro

Sampel disiapkan dari proses *stircasting*, kemudian spesimen di potong dan di mounting dengan menggunakan resin. Spesimen kemudian di ampelas dengan menggunakan sand paper dengan nomor, 100, 600, 1000, sampai 1500. Spesimen kemudian dipoles dengan pasta alumina dan selanjutnya di etsa menggunakan *keller Etching Reagen* ( 2ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, dan 90 ml H<sub>2</sub>O ) selama 15 detik dan kemudian di bilas dengan menggunakan aquades. Setelah itu dilakukan pengamatan metalografi spesimen yang sebelumnya sudah di etsa untuk di observasi dengan menggunakan optical microscope.

## 3. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1. Uji impak

Pengujian impak merupakan metode uji yang bertujuan untuk mengukur berapa energi yang dapat diserap suatu material sampai material mengalami patah. Pada penelitian ini pengujian impak dilakukan pada material hasil *stircasting* komposit Al-abu vulkanik dengan variasi kecepatan putar 0,200,300,400,500 dan 600 rpm, dengan hasil uji impak seperti Tabel 3 di bawah ini.

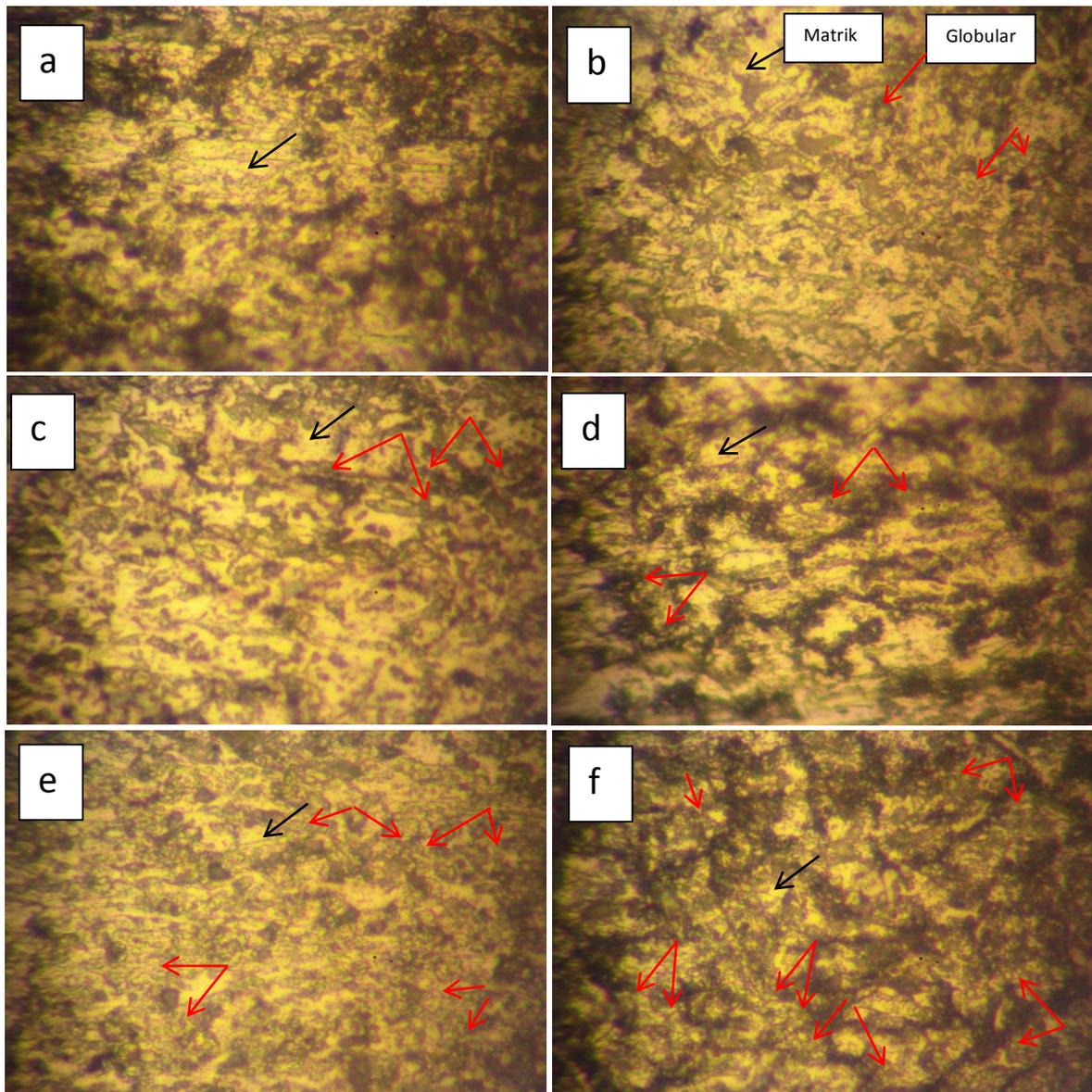
**Tabel 3.** Hasil uji impak variasi putaran 0,200,300,400,500,600 rpm

No	Spesimen kecepatan aduk (rpm)	Jumlah specimen tiap putaran	Energi ( joule )	Rata – rata energi ( joule)	Std deviasi
1	0	1	0,47	0,73	0,3973
		2	0,74		
		3	0,98		
2	200	1	0,36	0,56	0,1697
		2	0,45		
		3	0,67		
3	300	1	0,12	0,57	0,1563
		2	0,74		
		3	0,86		
4	400	1	0,47	0,55	0,1410
		2	0,56		
		3	0,64		
5	500	1	0,95	1,1133	0,7386
		2	0,47		
		3	1,92		
6	600	1	1,38	1,5466	0,2886
		2	1,38		
		3	1,38		

Dari hasil uji impak pada variasi putaran sangat mempengaruhi besaran energi yang diserap, hal itu dapat dilihat bahwa putaran antara 0,200,300 dan 400 rpm tidak terdapat perbedaan yang terlalu besar terhadap energi yang di serap, dengan prosentase perbedaan terhadap putaran 0 rpm adalah pada putaran 200 rpm (penurunan 0,17%), 300 rpm ( penurunan 0,16 %), 400 rpm ( penurunan 0,18%). Sedangkan putaran pada 500 dan 600 rpm terlihat kenaikan penyerapan energi yang cukup besar terhadap putaran 0 rpm. Pada putaran 500 rpm ( kenaikan 0,36%) dan pada putaran 600 rpm (kenaikan 0,8%), hal ini dikarenakan paduan mulai meratanya butiran globular karena penambahan kecepatan putaran, hal ini bisa dilihat pada foto mikro (Gambar 3e,3f). Hasil uji impak menunjukkan putaran 600 rpm menghasilkan rata – rata energi serap yang paling tinggi dengan 1,5466 Joule (kenaikan 0,8 %). Hasil dari proses *stircasting* pada putaran 600 rpm juga di tunjukkan dari hasil uji miko dimana ketika kecepatan pengadukan ditingkatkan terbentuk menjadi butiran kecil, lebih rapat serta penyeberan butirannya jadi merata.

### 3.2 Analisa struktur mikro

Hasil struktur mikro dari paduan Al-abu vulkanik di uji dengan mikroskop optik yang diproses dengan *Stircasting* dari berbagai kecepatan disajikan pada Gambar 3. Dalam hal ini kecepatan pengadukan berperan penting dalam pembentukan struktur mikro dari *Stircasting*. Pada Gambar 3, ditunjukkan struktur mikro aluminium padat dari aluminium sebagai matrik dengan tanda panah hitam dan globular ditunjukkan dengan tanda panah merah.



**Gambar 3.** Struktur mikro paduan Al-abu vulkanik, a) pengecoran konvensional (0 rpm), b) 200 rpm, c) 300 rpm, d) 400 rpm, e) 500 rpm dan f) 600 rpm.

Gambar 3a menunjukkan struktur dari paduan dengan pengecoran tanpa pengadukan (konvensional) atau tanpa adanya aplikasi gaya geser selama proses solidifikasi serta tanpa filler. Kelihatan pengelompokan struktur yang lebih terang dari unsur Aluminium padat dan unsur lain ( Si, Mn, Ca, Fe, K, Ti, P ) berwarna gelap serta menghasilkan sepenuhnya daerah struktur butir yang besar.

Selanjutnya pada proses pengecoran berikutnya saat aluminium mencair dilakukan proses *stir casting* dengan batang pengaduk yang dimasukkan dalam paduan aluminium cair pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$ . Kemudian batang pengaduk diputar dengan variasi kecepatan yang telah ditentukan. Dalam proses *Stir casting* dengan pengadukan mekanis, struktur mikro yang mulanya butir aluminium mendapatkan gaya geser berupa putaran dimana blade pengaduk akan memotong daerah butir yang mula-mula besar menjadi potongan-potongan kecil serta terjadi penyebaran, dan selanjutnya akan bertransformasi menjadi butir-butir dengan struktur butiran kecil bundar yang biasanya disebut globular.

Pada Gambar 3b terjadi adanya perbedaan struktur mikro dari aluminium cair dengan terbentuknya gumpalan-gumpalan daerah butir globular yang besar dan juga penyebaran butiranya masih belum merata. Hal itu karena pada putaran 200 rpm belum terjadi penyebaran butiran yang merata seperti ditunjukkan pada Gambar 3b-3c. Pada Gambar 3d mulai terbentuk batas butir yang menyebar karena peningkatan kecepatan putaran pada 400 rpm namun dengan jumlah dan ukuran yang masih belum beraturan.

Pada Gambar 3e-3f terjadinya peningkatan terjadinya butiran-butiran globular yang lebih kecil ukurannya dan penyebarannya yang lebih merata dikarenakan adanya tekanan paksa akibat gaya geser dari blade batang pengaduk terhadap logam cair, dimana putaran ditingkatkan pada kecepatan 500 rpm dan 600 rpm memberikan berpengaruh pada ukuran butir dan penyebarannya. Selanjutnya dari peningkatan kecepatan putaran blade pengaduk ini bentuk butiran yang lebih besar terjadi terpotong dan terbelah serta terpisah menjadi butiran-butiran globular yang lebih kecil dan menyebar. Hal tersebut memberikan pengaruh pada uji impak dimana pada saat putaran 500 rpm dan 600 rpm terdapat peningkatan 0,8% (600 rpm) energi serap spesimen terhadap impak.

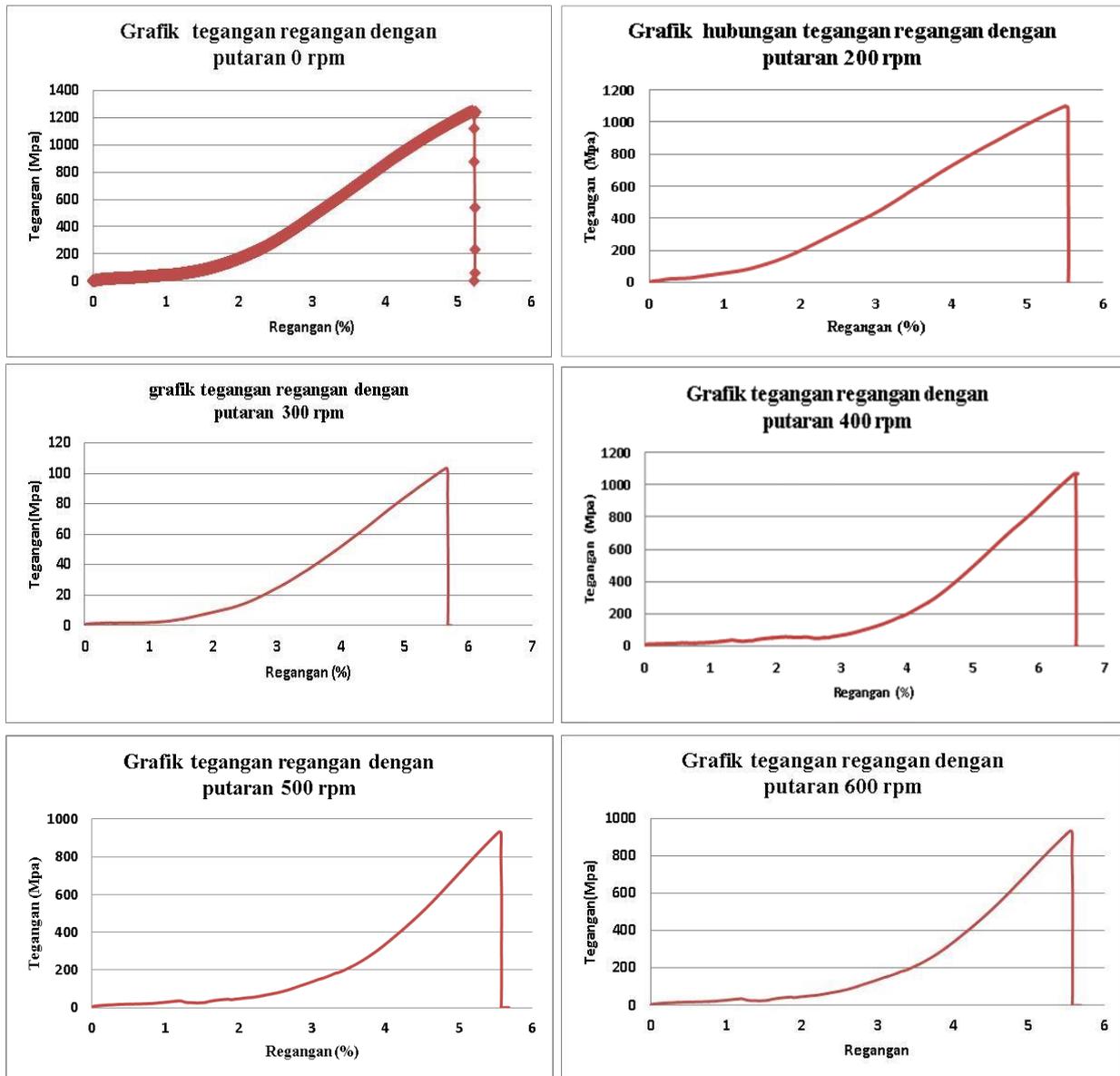
Pada Gambar 3f dengan kecepatan pengadukan yang ditingkatkan pada 600 rpm butiran globular lebih merata penyebarannya dan kerapatannya lebih meningkat. Dimana ketika kecepatan pengadukan ditingkatkan pertumbuhan butiran akan relatif seragam dan jumlah butiran globular bertambah dan lebih menyebar dengan ukuran butiran yang lebih kecil dan rapat. Hal ini berpengaruh pada uji impak pada putaran 600 rpm didapat nilai kenaikan energi serap paling besar pada spesimen.

### 3.3 Uji tarik

Pada penelitian ini pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan mesin uji universal model UH – 300 knx sesuai ASTM D8. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik diantaranya ultimate tensile strength, yield stress, dan modulus elastisitas. Hasil uji tarik pada spesimen dengan variasi putaran 0,200,300,400,500 dan 600 rpm dapat dilihat pada grafik hasil uji tarik pada Gambar 4.

Grafik tegangan-regangan pada uji tarik dapat dilihat perbedaan kekuatan tarik spesimen. Semakin panjang garis regangannya maka benda dapat digolongkan ke dalam material yang memiliki elastisitas yang tinggi. Sedangkan bila semakin pendek garis regangan maka dapat digolongkan dalam material yang getas. Tiga titik penting dalam grafik, yaitu : *yield point*, *ultimate tensile strength*, dan titik potong. *Yield point* adalah titik persimpangan / perbatasan antara area elastisitas dan area plastis. *Ultimate tensile strength* adalah titik tegangan maksimum yang bekerja pada alat uji tarik. Sedangkan titik potong adalah titik di mana material tersebut putus. Tegangan yang terjadi pada spesimen semakin lama semakin besar seiring dengan bertambahnya perpanjangannya. Ini mengakibatkan gaya tarik  $F$  yang bekerja pada spesimen tersebut semakin lama semakin besar. Karena adanya persamaan  $\sigma = F/A$  di mana,  $\sigma$  adalah besarnya tegangan,  $F$  adalah besarnya gaya yang bekerja, dan  $A$  adalah luas penampang spesimen uji. Dari hasil Gambar 4, didapatkan panjang diameter berubah seiring dengan bertambah panjangnya spesimen. Rata – rata sebelum pengujian sebesar 8,9 mm dan rata – rata sesudah pengujian panjang berubah menjadi 7,4 mm.

Dari data pengujian tarik di dapat nilai modulus elastisitas yang paling besar adalah pada spesimen dengan putaran 600 rpm dengan nilai modulus elastisitas sebesar 3725,86 Mpa, dan nilai modulus elastisitas terkecil adalah pada spesimen dengan putaran 300 rpm dengan nilai 2432,43 Mpa. Hal ini dapat dilihat dari hasil foto mikro pada Gambar 3f yang menunjukkan pada pengadukan dengan putaran 600 rpm terlihat penyebaran globular dengan butiran yang berukuran kecil dan tersebar merata. Semakin tinggi putaran pengadukan akan memperbaiki ukuran dan penyebaran globular sehingga menaikkan modulus elastisitas.. Namun jika kecepatan putaran pengaduk rendah pada saat putaran 200 rpm dan 300 rpm maka tegangan geser saat pengadukan belum mampu mengubah struktur menjadi struktur globular sehingga modulus elastisitas tinggi[16]. Struktur globular sangat mempengaruhi sifat mekanik logam, karena semakin besar ukuran butir maka nilai kekakuan akan semakin menurun, dan ukuran yang semakin berbentuk butiran kecil serta penyebaran yang merata akan memperbaiki struktur dari logam. Demikian juga semakin kecil butir serta penyebaran globular maka elastisitas akan tinggi. Sehingga tegangan tarik ultimate dan nilai elongasinya mengalami penurunan dengan menurunnya ukuran sel butirnya. Data  $F$  yang dihasilkan dari grafik tegangan regangan pada tiga titik berbeda tergantung pada besarnya tegangan dan luas permukaan penampang spesimen. Pada titik *yield point*,  $F$  yang didapat dari hasil adalah 5687,5 N (5,6 KN). Gaya  $F$  pada titik *yield point* ini bergantung pada perhitungan penentuan posisi *yield point* tersebut. Pada titik *ultimate tensile strength*, gaya  $F$  yang telah didapat adalah 9396,887 N (9,3 KN, grafik 400 rpm). Ini adalah gaya maksimum yang didapat oleh spesimen dari alat uji tarik. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hubungan antara tegangan dan regangan dengan putaran 300 rpm, 400 rpm, 500 rpm, dan 600 rpm.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan mengenai peningkatan kecepatan pengadukan berpengaruh signifikan pada perubahan struktur mikro pada paduan aluminium padat dari paduan Al-abu vulkanik, dan juga pada turunnya diameter butiran paduan. Pada putaran pada 500 dan 600 rpm terlihat kenaikan penyerapan energi yang cukup besar terhadap putaran 0 rpm. Pada putaran 500 rpm (kenaikan 0,36%) dan pada putaran 600 rpm terdapat hasil energi serap yang paling tinggi dengan nilai 1,5466 Joule (kenaikan 0,8%), hal ini dikarenakan paduan mulai meratanya butiran globular karena penambahan kecepatan putaran. Dari hasil pengujian dampak peningkatan kecepatan pengadukan dari *stir casting* memberikan tren meningkat jumlah dan kerapatan butiran terstruktur. Pada ketangguhan paduan, perubahan struktur mikro khususnya ukuran butiran halus dan butiran globular yang mencapai bulat menjadikan pengaruh paduan pada sifat mekaniknya. Sedangkan pada pengujian tarik peningkatan kecepatan putaran pengaduk semakin tinggi didapat nilai modulus elastisitas spesimen semakin tinggi, nilai modulus elastisitas yang paling besar adalah spesimen dengan putaran 600 rpm dengan nilai modulus elastisitas sebesar 3742,5 Mpa, dan nilai modulus elastisitas terkecil adalah spesimen uji dengan putaran 300 rpm dengan nilai 2900 Mpa. hal ini membuktikan semakin tinggi putaran pengadukan pada paduan aluminium- abu vulkanik mengakibatkan menurunkan elastisitas bahan serta pada putaran tinggi akan memberikan struktur globular berubah struktur menjadi kecil dan merata sehingga hasil coran menjadi homogen.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] [http//.](http://.) Gaikindo, 2013.
- [2] RAMNATH, B. VIJAYA. 2014 Aluminium Metal Matrix Composite - A Review. *advances and Study Center Co. Ltd.*,38: 55-60.
- [3] WIDI APRIANTO, *Pemilihan Bahan Dan proses*, Bandung, Universitas Achmadyani pers, 2014.
- [4] GIBSON, RONALD. F., 1994., *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill. Inc. New York. pp. 27-29.
- [5] W. SUPRAPTO, *Teknologi Pengecoran Logam*. Malang: *Ub Press*, ISBN 978-602-432-289-2 2017.
- [6] 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.
- [7] TATA SURDIA, SHINROKU SAITO. 1999. Jakarta: Pradnya. Paramita, xiii
- [8] ASTM INTERNATIONAL, “Standard Test Methods For Determining Average Grain Size,” 2014.
- [9] SINGLA, MANOJ, D. DEPAK, DWEVEDI, LAKIR SINGH, VIKAS KWALA. “ *Developmen of Aluminium Based Siicon Carbida Particulate Metal Matrix Composite* “. *Journal Of Material & Material Caracterational & Engineering*. 2009. Vol 8 No. 6. 445-467
- [10] ANNUAL HAND BOOK ASTM E8 .Standard Test Methods of Tension Testing of Metallic Materials 1
- [11] ANNUAL HAND BOOK ASTM E23 – 02. Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1.
- [12] CALLISTER, JR. W.D., 2011, *Material Science and Engineering – An Introduction*, 7th ed, John Wiley & Sons, Inc
- [13] LIN, G., HONGWEI, Z., 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.
- [14] S. P. MIDSON, “Industrial Applications For Aluminum Semi-Solid Castings Industrial Applications For Aluminum Semi-Solid Castings,” *Solid State Phenom.*, Vol. 217–218, Pp. 487–495, 2016.
- [15]. BHUSHAN, R.K. and KUMAR, S. (2011), “Influence of SiC Particles Distribution and Their Weight Percentage on 7075 Al Alloy”, *Jurnal of Materials Engineering and Performance*, Volume 20 (2) March 2011, 317-323.
- [16] FLEMINGS, M.C., 1991, “ Behavior of Metal alloy in The Semisolid State”, *Metallurgical Transaction A*, Vol. 22<sup>a</sup>, - 981.