

# FABRIKASI DAN KARAKTERISASI SIFAT FISIK DAN MEKANIK PRODUK *STIR CASTING* KOMPOSIT DAUR ULANG ALUMINIUM DENGAN PENAMBAHAN 26, 30 DAN 34 wt % *FLY ASH*

Amir Arifin, Gunawan, Mirsya Rahmawan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya -Inderalaya

\*Corresponding author: amir@unsri.ac.id

**Abstrak.** Limbah aluminium minuman kaleng bekas merupakan salah satu sampah berbahan aluminium yang banyak digunakan saat ini dan limbah fly ash merupakan sisa dari pembakaran batubara. Penggunaan limbah aluminium minuman kaleng bekas dan limbah fly ash dengan cara pengecoran dapat menghasilkan aluminium komposit. Metode yang digunakan untuk pembuatan aluminium komposit yaitu metode stir casting, dengan menggunakan parameter temperatur pengadukan 800°C, fraksi berat fly ash 26, 30 dan 34% dengan penambahan pembasah magnesium 2.5% serta kecepatan pengadukan konstan 350 rpm dan waktu pengadukan 10 menit. Pengujian ini meliputi pengujian kekerasan, dampak, komposisi kimia, densitas dan Scanning Electron Microscope (SEM). Dari hasil pengujian didapat nilai kekerasan tertinggi pada variasi aluminium + fly ash 26% yaitu 69.327 BHN dan nilai kekerasan terendah pada variasi aluminium + fly ash 34% yaitu 66.212 BHN. Hasil pengujian dampak tertinggi di dapatkan pada variasi aluminium + fly ash 34% yaitu 11.879 Joule dan energi dampak terendah pada variasi aluminium + fly ash 26% yaitu 10.930 Joule. Hasil komposisi kimia masih banyak faktor pengotor pada waktu pengecoran Hasil pengujian densitas cenderung menurun seiring bertambahnya persentase jumlah fly ash. Pada hasil SEM diketahui masih banyaknya porositas yang terjadi dari hasil coran.

**Kata kunci:** Aluminium, Fly Ash, Stir Casting, Kekerasan, Dampak

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Pengurangan berat dan biaya produksi adalah salah satu isu utama dalam industri otomotif saat ini. Berbagai upaya intensif telah dilakukan oleh para pembuat mobil untuk mengurangi bobot mobil dalam kaitannya dengan rekayasa material. Sementara disisi lain peningkatan keamanan, kenyamanan interior, navigasi dan hiburan merupakan salah satu tuntutan yang harus disediakan oleh produsen kendaraan [1]. Sebagai salah satu solusi untuk permasalahan ini adalah beralihnya penggunaan material yang lebih ringan dalam dunia industri otomotif.

Logam ringan seperti aluminium (Al) adalah salah satu pilihan yang pada umumnya saat ini digunakan untuk menggantikan baja. Sebagai mana sudah umum diketahui bahwa aluminium memiliki kepadatan yang rendah dibandingkan dengan baja. Saat ini telah banyak peralatan yang di desain dengan menggunakan aluminium sebagai bahan dasarnya, seperti rumah alternator, rumah transmisi, penutup katup, dan intake manifold. Meskipun Al mampu mengurangi berat komponen otomotif sifat mekanik aluminium seperti kekerasan, kekuatan dan sifat dampak harus ditingkatkan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memenuhi tantangan ini dalam hal metode pemrosesan, desain dan modifikasi material [2-4].

Fabrikasi komposit matriks aluminium (AMC) menggunakan casting stir dengan bahan penguat tambahan adalah metode untuk meningkatkan sifat mekanik. Banyak peneliti telah menambahkan partikel keramik untuk meningkatkan sifat mekanik aluminium seperti SiC, Alumina, TiC dan Graphite [5 – 7].

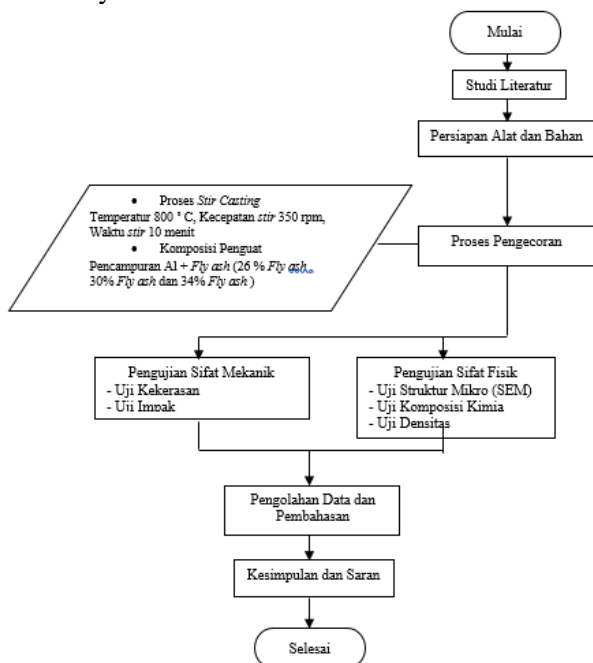
*Fly ash* merupakan limbah yang dipisahkan dari gas buang hasil pembakaran batubara dikeluarkan melewati cerobong. Material ini merupakan salah satu limbah padat yang berbahaya karena ukurannya yang sangat kecil sangat berbahaya apabila terhirup ke paru-paru manusia. Disisi lain juga merupakan suatu fakta bahwa material ini terus bertambah jumlahnya seiring meningkatnya pemanfaatan bahan baku batubara sebagai bahan bakar pada PLTU.

Masalah limbah abu layang (*fly ash*) dan biaya tinggi bahan penguat menghasilkan ide utama memanfaatkan fly ash sebagai bahan penguat umum untuk memproduksi komposit bermatrik aluminium. Dengan mencampur paduan aluminium dengan fly ash menggunakan metode *stir casting*, kerapatan dislokasi yang tinggi dari komposit tersebut dapat dibuat dan meningkatkan sifat mekanisnya [8]. Pada penelitian tersebut juga melaporkan bahwa ukuran fly ash yang lebih kecil mengurangi kekerasan, kekuatan tarik dan kompresi komposit. Investigasi pada sifat mekanik

dan fisik AMC yang melibatkan fly ash dicampur dengan berbagai bahan penguatan umum juga telah dilaporkan [9]. Pada umumnya penelitian dilakukan dengan menggunakan bahan baku aluminium baru dan dengan menggunakan persentase fraksi berat yang rendah. Pada penelitian ini dilakukan fabrikasi dan karakterisasi sifat fisik dan mekanik produk stir casting komposit daur ulang aluminium dengan penambahan 26, 30 dan 34 wt % fly ash.

## Metode Penelitian

Aluminium dan fly ash sendiri sulit untuk saling berikatan maka cara stir casting adalah cara yang tepat untuk membuat aluminium komposit ini dan penambahan pembasah seperti mg sangatlah diperlukan agar penguat dapat berikatan dengan matriksnya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1, dan bahan baku yang digunakan disini adalah aluminium yang berasal dari minuman kaleng bekas dan fly ash yang berasal dari PLTU Tanjung Enim. Penentuan jumlah dari komposisi bahan penguat yang digunakan dalam penelitian ini dapat kita ketahui dengan perhitungan fraksi berat dari spesimen jadi. Perhitungan fraksi ini bertujuan untuk mempermudah penentuan jumlah komposisi penguat serta komposisi pembasah dalam 1 kali pengecoran untuk setiap variasi pengecoran yang akan dilakukan.

Pada pengujian kekerasan dilakukan dimesin Brinell Hardness Testing Machine yang terdapat di Laboraturium Metalurgi Jurusan Teknik Mesin. Pembuatan spesimen kekerasan mengacu pada standar uji JIS Z 2243. Pengujian kekuatan impak

memakan alat uji charpy impact yang mengacu standar JIS Z 2202. Pengujian densitas dilakukan dengan cara membandingkan massa benda uji di udara dan didalam fluida. Pada pengujian ini fluida yang digunakan adalah air. Pengujian komposisi kimia hasil pengecoran aluminium komposit menggunakan alat uji PMI Niton Analyzer XL2 di laboratorium PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang. Sedangkan pengujian SEM akan dilakukan di Politeknik Manufaktur Bangka Belitung. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan alat SEI INSPECT S50 .

## Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian komposisi kimia terhadap hasil peleburan aluminium murni dapat dilihat pada tabel 1 dan hasil peleburan untuk komposisi kimia aluminium komposit dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Untuk Aluminium Murni

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Pengujian
1.	Aluminium ( Al )	%	97.48
2.	Mangan ( Mn )	%	0.676
3.	Besi ( Fe )	%	0.502
4.	Tembaga ( Cu )	%	0.756
5.	Seng ( Zn )	%	0.498
6.	Timbel ( Pb )	%	0.067

Tabel 2. Hasil Pengujian Komposisi Kimia Untuk Aluminium Komposit

No.	Parameter Uji	Satuan	Hasil Pengujian
1.	Aluminium ( Al )	%	98.25
2.	Mangan ( Mn )	%	0.649
3.	Besi ( Fe )	%	0.424
4.	Tembaga ( Cu )	%	0.345
5.	Seng ( Zn )	%	0.286
6.	Timbel ( Pb )	%	0.003

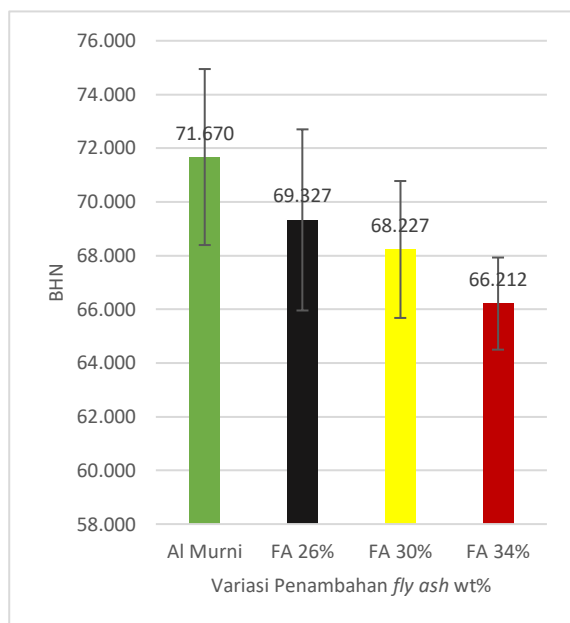
Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode Brinell dengan indenter bola baja berdiameter 5 mm, beban sebesar 500 kgf dengan waktu penekanan 30 detik pada spesimen dengan variasi komposisi persentase fly ash 26%, fly ash 30%, fly ash 34% pada temperatur tuang 800°C, kecepatan pengadukan 350 rpm dan waktu pengadukan selama 10 menit. Penekanan dilakukan sebanyak 10 titik untuk setiap spesimen uji dan di ambil nilai rata – ratanya.

Dari hasil tabel 2. pengujian komposisi kimia aluminium komposit dapat dilihat jenis paduan aluminium hasil coran terbentuk adalah paduan Al-Mn dengan komposisi Al 98.25% dan Mn sebanyak

0.649 %. Pada hasil dari komposisi kimia tersebut di dapatkan faktor pengotor saat proses pengecoran yang mengakibatkan timbulnya komposisi kimia yang lain.

Pada pengujian komposisi kimia tersebut terjadinya peningkatan persentase aluminium antara aluminium murni dengan aluminium komposit. Peningkatan komposisi aluminium dari aluminium murni ke aluminium komposit diduga di pengaruhi oleh fly ash yang mengandung sedikit komposisi aluminium sehingga komposisi aluminium komposit menjadi naik.

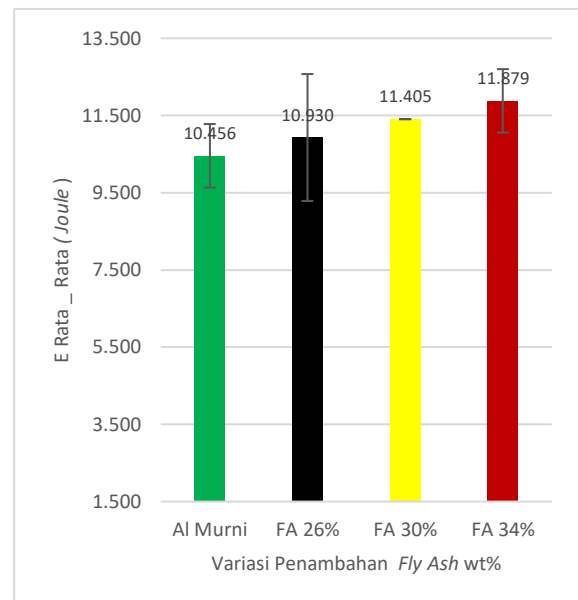
Adapun faktor pengotor yang terjadi pada saat proses pengecoran yang menimbulkan komposisi kimia yang lain misalnya pengecoran yang berulang kali dengan menggunakan kowi yang sama dan alat pengaduk pada saat pengecoran di tempratur tinggi menyebabkan terjadinya difusi antara kowi dan alat pengaduk pada saat pengecoran, selain itu bisa juga di sebabkan oleh kotoran dari aluminium kaleng bekas yang tidak dibersihkan terlebih dahulu.



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Rata-rata Uji Kekerasan

Dari hasil pengujian nilai kekerasan (gambar 2) pada aluminium murni memiliki nilai kekerasan rata – rata 71.670 BHN. Sedangkan nilai kekerasan aluminium komposit dengan metode *stir casting* mempunyai nilai kekerasan 69.827 BHN untuk variasi aluminium + fly ash 26%, kemudian 68.227% BHN untuk variasi aluminium + fly ash 30%, dan 66.212 BHN untuk variasi komposisi aluminium + fly ash 34% dengan semua parameter yang sama, dan standar deviasi untuk setiap variasi mulai dari 3.277, 3.373, 2.549 dan 1.716.

Penurunan diduga karena ketidak mampuan campuran yang baik antara matriks dan penguat yang dipengaruhi oleh minimnya pembasah sehingga tidak terjadi pengikatan antar partikel pada matriks dan penguat hal ini bisa menurunkan nilai kekerasan suatu logam, hal ini sejalan dengan penelitian dari [10], besarnya persentase magnesium (mg) dan unsur paduan yang di tambahkan juga akan berpengaruh pada struktur mikro hasil coran, pengaruh ukuran butir merupakan bagian terpenting yang perlu mendapatkan perhatian karena parameter butir akan menentukan kekuatan mekanis logam paduan. Dengan semakin banyaknya jumlah fly ash pada matriks aluminium seiring dengan penambahan persentasenya maka persebaran fly ashnya semakin tidak merata dan menyebabkan penurunan kekerasan aluminium, hal ini sejalan dengan penelitian [11] terjadi penurunan kekerasan saat penambahan fly ash lebih dari 20%.



**Gambar 3.** Grafik Perbandingan Rata-rata Uji Impak

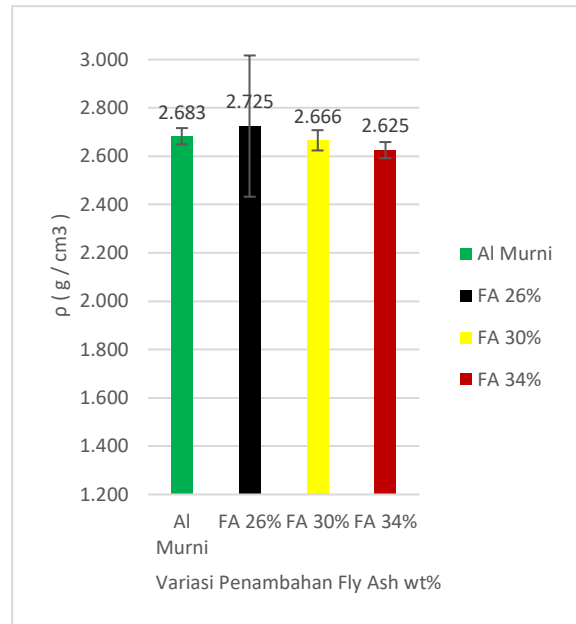
Pengujian impak dapat digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu material untuk menyerap energi. Dari data hasil pengolahan data pengujian impak (gambar 3) terhadap spesimen hasil coran aluminium murni dapat dilihat bahwa nilai energy impaknya rata – rata adalah 10.456 Joule, sedangkan untuk jenis spesimen dengan campuran bahan penguat di dapat nilai energi impak untuk aluminium + fly Ash 26 % nilai rata – rata energi impaknya 10.930 Joule, sedangkan untuk aluminium + fly ash 30 % didapatkan nilai rata – rata energy impak 11.405 Joule, dan untuk aluminium + fly ash 34 % didapatkan nilai rata – rata energy impak 11.879 Joule dengan standar

deviasi dari masing – masing variasi adalah 0.822, 1.643, 0, 0.821.

Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa energi impak cenderung naik dengan semakin besarnya persentase *fly-ash*, penambahan 26%, 30% dan 34% menyebabkan naiknya energi impak sebesar 4.33%, 8.32% dan 11.879% . Kenaikan tersebut merupakan pengaruh dari penguat yaitu *fly ash* yang menaikkan sifat mekanik sehingga energi impaknya mengalami kenaikan. Kenaikan energi impak ini sejalan dengan penelitian [12] bahwa penambahan persentase penguat menaikkan harga impaknya.

Dari hasil pengujian impak dapat dilihat bahwa nilai energi rata- rata impak tertinggi di dapat pada hasil pengecoran dengan penambahan bahan penguat *fly ash* 34% yaitu sebesar 11.879 *Joule*, sedangkan dengan nilai energi rata – rata impak terendah didapat pada hasil coran dengan penambahan *fly ash* 26 % dengan harga impak 10.930 *Joule*. Dilihat dari nilai kekerasannya bahwa semakin tinggi nilai kekerasan maka materialnya cenderung semakin getas, sebaliknya dengan nilai kekerasan yang rendah maka cenderung materialnya ulet.

Hal ini membuktikan nilai impak pada *fly ash* 26% adalah 10.930 *Joule* mempunyai nilai energi impak yang rendah membuat patahnya menjadi getas karena nilai kekerasan yang lebih tinggi, ditambah dengan minimnya porositas pada variasi *fly ash* 26% dan bisa dilihat dari hasil pengujian SEM yang menunjukkan perpatahan dan hasil porositas, sedangkan pada *fly ash* 34% adalah 11.879 *Joule* mempunyai nilai yang lebih ulet karena nilai kekerasan yang lebih rendah meskipun lebih banyak porositas namun pada hasil pengujian SEM tapi terlihat bahwa batas butir yang terjadi lebih banyak sehingga mendapatkan patah yang ulet karena nilai serapan energi lebih baik dari batas butirnya dan dapat dilihat juga pada pengujian SEM untuk melihat perpatahan dan melihat porositasnya.



**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Rata-rata Uji Densitas

Seperti terlihat pada gambar 4, spesimen dari hasil pengecoran aluminium dengan bahan penguat mempunyai nilai densitas tertinggi dan nilai densitas terendah, nilai densitas tertinggi ada pada campuran aluminium + *fly ash* 26% sebesar 2.725 g/cm<sup>3</sup> kemudian diikuti dengan komposisi aluminium + *fly ash* 30% sebesar 2.666 g/cm<sup>3</sup> dan yang terendah pada aluminium + *fly ash* 34% yaitu 2.625 g/cm<sup>3</sup>. Material dengan densitas yang tinggi akan meningkatkan nilai kekerasan terlihat dari nilai densitas pada setiap variasi penguat bahwa pada variasi *fly ash* 26% mempunyai nilai kekerasan yang tinggi dan densitas yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan hasil pengujian SEM bahwa pada campuran aluminium + *fly ash* 26% sangat minim porositas sehingga naiknya nilai massa jenis dari hasil coran, jadi densitas aktual lebih berat dari pada densitas teoritis yaitu 2.71 g/cm<sup>3</sup> karena terjadi pengelompokan penguat pada matriksnya.

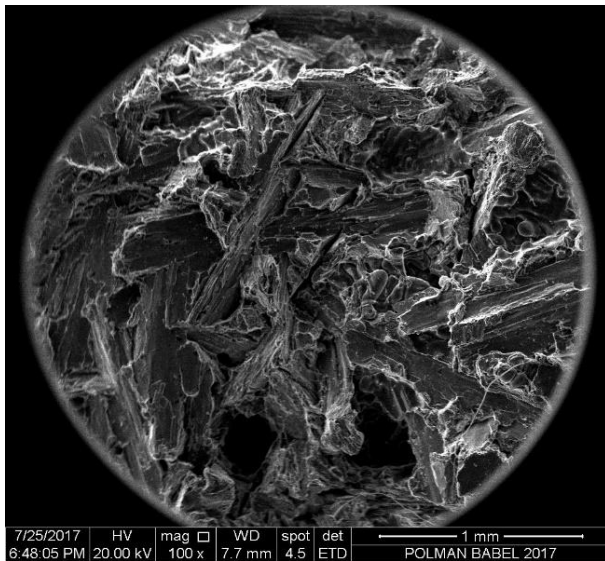
Kemudian penurunan terjadi pada naiknya persentase penguat karena kurang baiknya ikatan antara matriks dan penguat sehingga terjadinya celah – celah pada hasil coran aluminium + *fly ash* 30% dan aluminium + *fly ash* 34% porositas ini terjadi karna ketidak sempurnaan ikatan matriks dan penguat, dan terlihat pada hasil pengujian SEM pada aluminium + *fly ash* 34% banyaknya porositas yang terjadi pada hasil coran tersebut, diduga tinggi persentase jumlah *fly ash* menimbulkan pengelompokan antar *fly ash* sendiri dan menyebabkan kurangnya ikatan antara matriks dan penguat. Pada literatur menyebutkan persentase porositas yang terjadi pada material komposit lebih banyak bukan dari agen pembasah melainkan

porositas lebih banyak dipengaruhi oleh penguat yang di tambahkan [13].

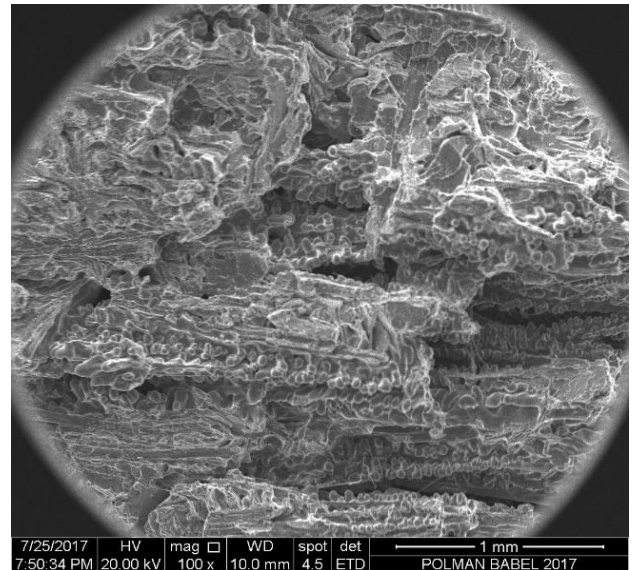
Porositas lebih banyak terjadi diduga oleh pengaruh tempratur yang tinggi dan diduga disebabkan karna persentase jumlah penguatnya yang tidak tercampur dengan baik dan terjadinya porositas akibat pengadukan saat fabrikasi komposit yang dilakukan.

Pengujian SEM dari hasil coran aluminium komposit dengan penambahan serbuk *fly ash* ini dilakukan untuk mengetahui adanya porositas yang terkandung di dalam hasil coran aluminium dan mengetahui perpatahan hasil uji impak dengan melakukan perbesaran dari 100x dan 1000x.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel spesimen impak dengan nilai impak terendah dan nilai impak tertinggi. Spesimen terendah digunakan Aluminium + *Fly Ash* 26% dengan harga 10.930 *Joule* dan tertinggi digunakan Aluminium + *Fly Ash* 34%. dengan harga impak 11.879 *Joule*. Hasil uji SEM pada pembesaran 100x menunjukkan hasil patahan yang terjadi pada pengujian impak dan terlihat pula adanya celah yang mencerminkan porositas hasil pengecoran yang terlihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Aluminium + *fly ash* 26% 100x

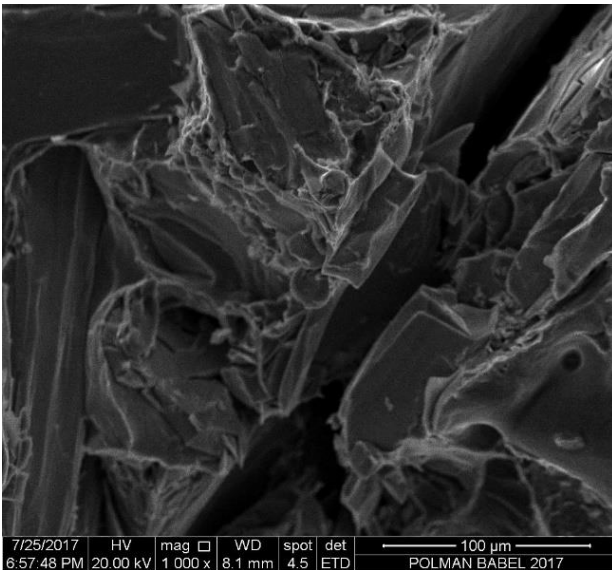


Gambar 6. Aluminium + *fly ash* 34% 100x

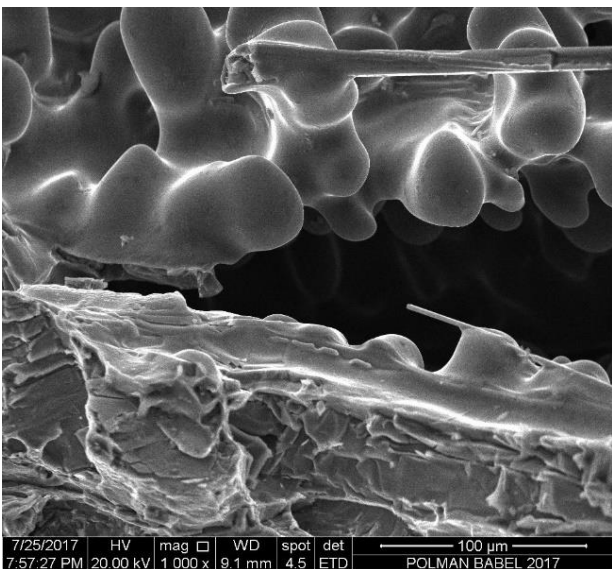
Pada gambar 5. terjadinya patah yang getas, yang di jelaskan dengan permukaan yang hampir rata, sedangkan pada gambar 6 terlihat terjadi patah yang ulet terlihat dari banyaknya dimple – dimple pada permukaan patahan atau adanya material yang tertarik dan tertinggal pada permukaan patahan.

Pada analisis SEM dengan pembesaran 1000x (gambar 7 dan 8) terlihat adanya adanya celah yang terbentuk dari belum sempurnanya pengikatan antara matriks dan penguat diperkirakan di sebabkan oleh perbedaan temperatur pembekuan. Perbedaan ini yang menyebabkan sebagian telah mengalami pembekuan dengan cepat dan tidak terjadinya penyatuan penguat yang lain terhadap matriksnya, serta diduga pula karena temperatur yang tinggi hingga terbentuknya celah – celah atau porositas.

Pada pengamatan SEM variasi *fly ash* 26% terlihat sedikitnya batas butir yang ada meskipun variasi *fly ash* 26% lebih sedikit porositasnya. Batas butir tersebut dapat menyerap energi impak sehingga pada saat spesimen di uji batas butir tersebut dapat menyerap energi yang terjadi pada saat tumbukan, dengan sedikitnya batas butir maka energi yang diserap berkurang dan tegangan antar partikel tidak berikatan dengan baik sehingga timbulnya patah getas pada variasi ini.



Gambar 7. Aluminium + *fly ash* 26% 1000x



Gambar 8. Aluminium + *fly ash* 34% 1000x

Namun karena sedikitnya porositas pada aluminium + *fly ash* 26% sesuai dengan hasil pengujian densitas dimana harga dari densitasnya yang lebih baik. Sedangkan pada aluminium + *fly ash* 34% terlihat banyaknya celah – celah pada permukaan namun terlihat lebih banyak batas butir yang terjadi pada variasi ini, batas butir tersebut terjadi akibat temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan banyaknya porositasnya. Batas butir yang berikatan dengan baik membuat variasi ini dapat menyerap energi impact lebih baik sehingga variasi *fly ash* 34% mempunyai patahan yang ulet. Banyaknya porositas pada aluminium + *fly ash* 34% ini sesuai dengan hasil pengujian densitas yang menurun dari aluminium + *fly ash* 26% namun dari segi energi impactnya lebih tinggi akibat ikatan

batas butir yang lebih baik dari pada variasi *fly ash* 26%

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian aluminium komposit yang dilebur dengan metode *stir casting* dengan aluminium sebagai matriks dengan penambahan unsur penguat *fly ash* maka dapat ditarik kesimpulannya sebagai berikut:

1. Dengan menggunakan metode *stir casting* berhasil memfabrikasi pemanfaatan limbah dan menghasilkan aluminium komposit yang baru, dan mengkarakteristik sifat fisik dan mekanik dari aluminium.
2. Pengaruh penambahan *fly ash* dari 26, 30, 34 wt% dapat menurunkan nilai kekerasan yang tidak diimbangi dengan penambahan wetting agent sebagai wettability, yang menyebabkan tidak terjadinya pengikatan yang baik antara matriks dan penguatnya. Tetapi menaikkan nilai ketangguhan impact yang terbanding terbalik dari hasil kekerasan sehingga penyerapan energinya semakin baik. Dari nilai massa jenis penambahan 26% mempunyai nilai yang lebih tinggi di bandingkan 30% dan 34%, ini menunjukkan bahwa porositas lebih sedikit, dan dari hasil pengujian SEM telah di buktikan dengan lebih sedikitnya porositas. Pada pengujian SEM menunjukkan daerah perpatahan pada spesimen uji, dimana *fly ash* 26% terjadi patah getas dan *fly ash* 34% terjadinya patah ulet.
3. Terjadinya porositas dari hasil *stir casting* komposit daur ulang aluminium, porositas terlihat dari hasil pengujian SEM dan hasil pengujian densitas dimana pada hasil SEM 26% terlihat terjadinya porositas yang lebih sedikit di bandingkan dengan hasil SEM 34% yang lebih porositas, begitu pula dengan hasil pengujian densitas yang menunjukkan bahwa untuk massa jenisnya penambahan 26% lebih tinggi dari pada penambahan *fly ash* 34%. Porositas bias terjadi karna temperatur peleburan yang tinggi dan pengelompokan antar penguat tidak tersebar rata dengan matriksnya.

### Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Sriwijaya yang telah mendukung penelitian ini.

### Referensi



- [1]. Macke, A., Schultz, B.F. & Rohatgi, P. 2012. Metal matrix composites offer the automotive industry an opportunity to reduce vehicle weight, improve performance. *Advanced Materials & Processes* 170(3): 19-23.
- [2]. Krishna, M. V. & Xavior, A. M. 2014. An investigation on the mechanical properties of hybrid metal matrix composites. *Procedia Engineering* 97: 918-924.
- [3]. Latif, N. A., Sajuri, Z. & Syarif, J. 2014. Effect of aluminium content on the tensile properties of Mg-Al-Zn alloys. *Jurnal Kejuruteraan* 26: 35-39.
- [4]. Vogiatzis, C. A., Tsouknidas, A., Kountouras, D. T. & Skolianos, S. 2015. Aluminum-ceramic cenospheres syntactic foams produced by powder metallurgy route. *Materials & Design* 85: 444-454.
- [5]. Alaneme, K. K. & Sanusi, K. O. 2015. Microstructural characteristics, mechanical and wear behaviour of aluminium matrix hybrid composites reinforced with alumina, rice husk ash and graphite. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 18(3): 416-422.
- [6]. Ghazali, M. J. 2006. Wear characteristic of several commercial wrought aluminium alloys against tool steel. *Jurnal Kejuruteraan* 18: 49-56.
- [7]. Sharma, P., Sharma, S. & Khanduja, D. 2015. A study on microstructure of aluminium matrix composites. *Journal of Asian Ceramic Societies* 3(3): 240-244.
- [8]. Anilkumar, H.C., Hebbar, H.S. & Ravishankar, K.S. 2011. Mechanical properties of fly ash reinforced aluminium alloy (Al6061) composites. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering* 6(1): 41-45.
- [9]. Lin, B., Li, S., Hou, X. & Li, H. 2015. Preparation of high performance mullite ceramics from high-aluminum fly ash by an effective method. *Journal of Alloys and Compounds* 623: 359-361.
- [10]. Setia, I., Budi Harjanto & Subagsono 2013. Analisis Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium (Mg) 2% dan 5% Terhadap Ketangguhan Impak, Tingkat Kekersan dan Struktur Mikro Pada Velg aluminium (Al-5,68 Si). Prodi Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, UNS Kampus V FKIP UNS.
- [11]. Shanmughasundaram, P., Subramanian, R. & Prabhu, G. 2011. Some Studies Of Aluminium - Fly Ash Composites Fabricated by Two Step Stir Casting Method. *European Journal of Scientific Research*, 63.
- [12]. Suprihanto, A. & Setyana, B. 2006. Pengujian Mekanik dan Fisik Pada Metal Matrix Komposit (MMC) Aluminium Fly Ash. *Rotasi*, Volume 8.
- [13]. Aziz & Syahrial, A. Z. 2014. Karakterisasi Komposit Aluminium Ac4c/Abu Terbang Menggunakan Metode Stir Casting Dengan Variasi Kadar Magnesium, Skripsi, Universitas Indonesia.