

PENGARUH FRAKSI PENGUAT FLY ASH DAN TEMPERATUR CETAKAN TERHADAP SIFAT KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA MMC

Muhammad Ghazali Arrahim

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
ghazaliarrahim30@gmail.com

Wahyono Suprpto

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

Femiana Gapsari

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

Metal Matrix Composite is a metal composite that utilizes an aluminum alloy as a matrix in its fabrication and has a wide application in industry. Fly ash is a coal-burning waste at the steam power plant that contains a high enough reinforcement fraction in the form of alumina (Al_2O_3) and silica (Si). Process of making specimens using an amplifier the powder metallurgy method. Fly ash as reinforcement was varied in powder mixing by 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%. The compaction process is carried out with hot isostatic pressure so that the powder becomes softer and makes it easier to compact. Effect of heating temperature on the mold varied at 250°C, 300°C, and 350°C to obtain a homogeneous bond. In the research conducted, the results showed that the hardness value of the specimen increased by 1.7% by 65.07 HRB at 10% fly ash reinforcement variation, then continuously decreased to 16.92% with a hardness value of 55.64 HRB in the reinforcement variation. Fly ash 25%. The results of scanning electron microscope observations show that the influence of the heating temperature of the mold provides an even distribution of particles at a temperature of 300°C. bonded particles between the matrix and reinforcement are better and at temperatures of 250°C and 350°C shows an uneven distribution of reinforcing particles and results in agglomeration of reinforcing particles in the specimens are The resulting product is brittle and causes a decrease in hardness in the variation of the fraction with fly ash content above 10%.

Keywords : Metal Matrix Composite, Aluminium, Fly Ash, Powder Metallurgy, Sintering, Hot Isotatic Pressure.

1. PENDAHULUAN

Komposit merupakan gabungan material yang terdiri dari gabungan matrik dan penguat (*reinforcement*), matrik sebagai material dasar sedangkan penguat dapat berupa serat, partikel serbuk, agregat dan lain-lain. Tujuan utama dari komposit adalah untuk menemukan kombinasi sifat yang tidak ditunjukkan oleh beberapa material tunggal penyusunnya dengan menggabungkan karakteristik yang terbaik dari setiap komponen material penyusunnya. Komposit partikulat merupakan komposit dengan menggunakan partikel atau serbuk sebagai penguat dan terdistribusi secara merata ke dalam matrik. Secara struktur mikro material komposit tidak merubah material pembentuknya (dalam orde kristalin) tetapi secara keseluruhan material komposit berbeda dengan material pembentuknya karena terjadi ikatan antar permukaan antara matriks dan Penguat, Ikatan antar permukaan ini terjadi karena adanya gaya adhesi dan kohesi pada persebaran partikel yang terjadi [1]

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang secara luas mempelajari dan menganalisis paduan aluminium, Aluminium dalam bentuk paduannya memiliki keterbatasan, dimana aluminium sangat rentan kekerasannya dan sangat mudah terdeformasi. *Metal Matrix Composite* (MMC) merupakan salah satu komposit logam yang memanfaatkan paduan aluminium sebagai matrik dalam fabrikasinya. MMC memiliki

aplikasi yang luas dalam bidang industri, karena sifatnya yang ringan dan kekuatan tinggi [2]. Penambahan unsur penguat lainnya seperti *Copper*, *Silikon*, *Zinc*, dan *Mangan* baik secara bersamaan ataupun terpisah untuk mendapatkan komposit dengan kualitas dari karakteristik dan sifat-sifatnya, maka bahan-bahan yang dipadukan antara matriks dan penguat harus diperhitungkan, karena unsur kimia yang terkandung dalam logam pada metal matriks komposit berfungsi sebagai pembentuk senyawa, pengatur dan pengontrol batas butir. Dasar perhitungannya biasanya didasarkan pada persentase fraksi, jenis penguat, reaksi pemanasan dan temperatur pemanasan [3].

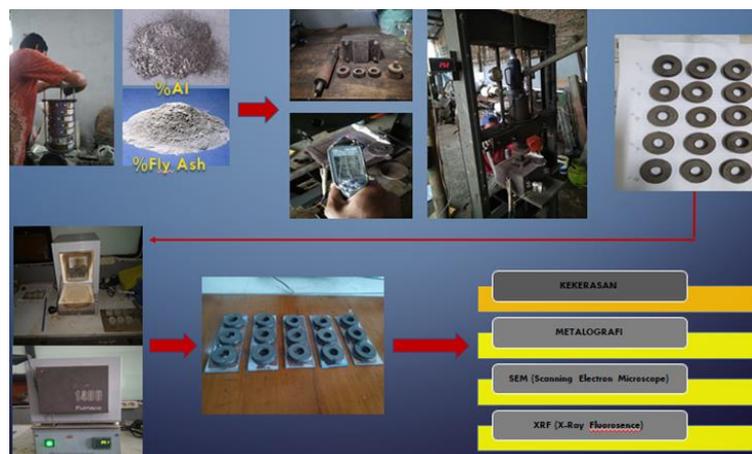
Dalam pembuatan MMC, material penguat yang digunakan salah berupa *fly ash*. Dimana *fly ash* merupakan limbah pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap yang mengandung fraksi penguat berupa silika (Si) dengan kadar yang cukup tinggi [4]. Proses fabrikasi dalam pembuatan MMC melalui proses sintering dengan metode metalurgi serbuk, serta menggunakan mekanisme pengerasan berupa *grain size reduction*, dimana pengaruh partikel penguat dapat menghalangi pergerakan dislokasi di sekitar batas butir dan berdampak pada kerapatan yang dihasilkan sehingga kekerasan meningkat. Peningkatan kekuatan, dan kekerasan pada MMC berbasis paduan juga telah banyak diteliti sehingga dapat diaplikasikan pada industri otomotif, pesawat terbang dan rekayasa lainnya [5].

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembuatan MMC, dengan memanfaatkan serbuk aluminium sebagai matrik ditambahkan penguat *fly ash* dengan persentase tertentu. Pengaruh variasi fraksi *fly ash* diharapkan mampu mengikat partikel lebih baik dan meningkatkan kerapatan spesimen sehingga porositas menurun dan menaikkan nilai kekerasan dan kekuatan pada produk MMC. Variasi temperatur cetakan sebelum proses penekanan (*compacting*) dan proses sintering mempengaruhi *grain size reduction* sehingga ikatan kimia antar partikel yang terjadi memberikan perubahan terhadap sifat mekanik dan berdampak pada perubahan struktur mikro yang akan dilihat dan dianalisis menggunakan mikroskop optik dan elektron atau mikroskop lainnya, sehingga material MMC dengan peningkatan sifat mekaniknya dapat dimanfaatkan secara aplikatif khususnya dalam bentuk komponen otomotif dan dapat menjadi sebuah produk yang kompetitif di pasar global.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Pembuatan MMC Aluminium Fly Ash

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian secara eksperimental. Dimana pembuatan MMC aluminium *fly ash* dalam penelitian ini dilakukan menggunakan proses metalurgi serbuk dengan metode sintering. Tahapan yang dilakukan yaitu dengan mempersiapkan bahan konvensional yang digunakan berupa matrik menggunakan serbuk aluminium dan penguat *fly ash*. Pada saat pembentukan spesimen serbuk aluminium dipadukan dengan fraksi partikel dengan komposisi pencampuran serbuk yang disesuaikan. Kemudian dilakukan tahapan pemadatan spesimen yang dilakukan secara *hot pressing* menggunakan penekanan *hot isotatic pressure* yang dilakukan secara uniaxial sehingga berpengaruh terhadap perubahan mekanik, kimia, dan thermal yang terjadi secara simultan dalam transformasi partikel padat (serbuk) menjadi masif (komponen) dengan sifat kuat, tangguh, tahan aus, dan tidak beracun [6].



Gambar 1: Tahapan Proses Pembuatan MMC Aluminium Fly Ash

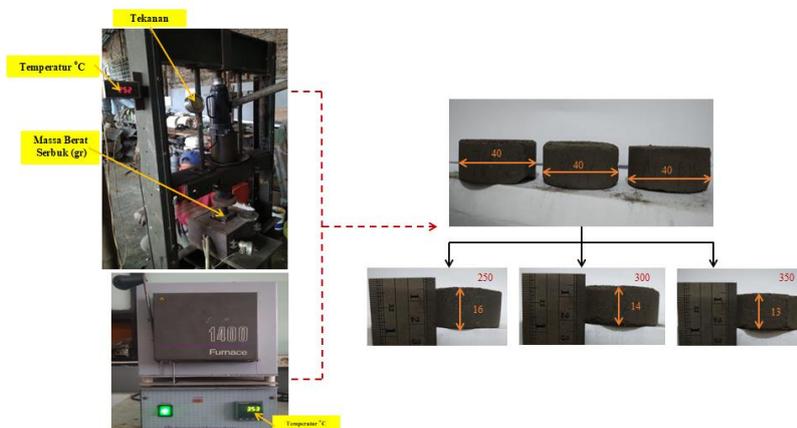
Selanjutnya melakukan *mixing* serbuk matrik dan penguat dengan variasi fraksi yang sudah ditentukan sehingga menghasilkan campuran yang homogen. dalam hal ini matrik berupa serbuk aluminium dan penguat berupa *fly ash* dicampurkan pada matrik aluminium dalam persentase berat jenis secara persentase. Fraksi

penguat *fly ash* sebesar 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% kemudian dicampurkan ke dalam matrik aluminium yang memiliki besar ukuran butir 3,174 μm . Semakin tinggi persentase *fly ash* yang digunakan menunjukkan permukaan spesimen yang semakin halus karena besar ukuran butir *fly ash* sebesar 0,74 μm / mesh 200. Kemudian dari penggabungan tersebut dilakukan proses penekanan secara *hot pressing* (HIP) untuk menghasilkan *green body* dengan kerapatan yang lebih kecil agar kekuatan yang dihasilkan relatif tinggi.

Kekerasan sebuah komposit sangat ditentukan oleh kekerasan partikel penguat dan proses pembuatan komposit [7]. Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam persebaran partikel penguat *fly ash* yang didistribusikan ke dalam matrik aluminium tahapan akhir dengan melakukan proses sintering, dimana spesimen MMC dipanaskan dan ditahan dibawah suhu rekristalisasi sehingga partikel penguat tersebar secara merata dan mengikat maksimal terhadap matrik aluminium.

2.2 Pengaruh Temperatur Dalam Pembuatan MMC Aluminium *Fly Ash*

Pengaruh variasi temperatur yang diberikan pada cetakan sebelum dilakukan proses penekanan divariasikan sebesar 250°C, 300°C, dan 350°C dan dilakukan penekanan secara *hot press* dengan temperatur yang sama. Variasi temperatur dalam proses penekanan berpengaruh terhadap penggumpalan mekanik pada matrik bersama dengan penguat *fly ash*. Sehingga partikel penguat akan terdispersi secara baik pada matrik aluminium dan berdampak pada gaya adhesi dimana partikel yang berbeda akan saling mengikat sehingga fasa yang terbentuk berdampak pada perubahan sifat mekanik dan menghasilkan spesimen MMC aluminium *fly ash* dengan kepadatan tinggi serta kekerasan yang lebih tinggi.



Gambar 5: Proses Penekanan Dan Sintering

Untuk menghasilkan MMC dengan karakteristik yang lebih baik dari bahan konvensional pembentuknya dilakukan proses sintering. Sehingga mempengaruhi karakteristik material komposit melalui perubahan mikrostruktur serta pengaruh ikatan antarmuka partikel. Dengan demikian mikrostruktur serta *phase* yang terbentuk mempunyai dampak yang cukup signifikan sebagai matrik pada komposit. Komposisi kimia, ukuran butiran bentuk, dan cacat kisi merupakan masalah yang cukup menonjol dalam mempengaruhi sifat mekanik matrik. Penguat dalam material komposit dikarakterisasi berdasarkan persentase fraksi volume, jenis, ukuran distribusi, dan orientasi [8].

Adapun langkah-langkah pengambilan data yaitu dengan melakukan pengambilan data unsur menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui komposisi kandungan unsur pada bahan konvensional, kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* dengan satuan HRB untuk mengetahui seberapa besar kenaikan kekerasan spesimen MMC dengan variasi fraksi serbuk matrik dan penguat yang digunakan dan pengaruh temperatur cetakan sehingga dapat dianalisis penyebab kenaikan dan dilakukan pembahasan. Setelah itu dilakukan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan pembesaran 5000X untuk melihat penyebaran partikel penguat terhadap matrik dan ikatan antar partikel yang terjadi.

3 HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kekerasan MMC Aluminium *Fly Ash*

Secara teoritis komposisi yang terbentuk dari perpaduan matrik dan penguat dapat diolah dan ditentukan tingkat kepadatan (densitas) yang dihasilkan. Dengan menggunakan rumus archimedes seperti ditunjukkan dalam persamaan 1.

$$\rho_c = \rho_r \cdot V_m + \rho_m \cdot V_r \tag{1}$$

Keterangan :

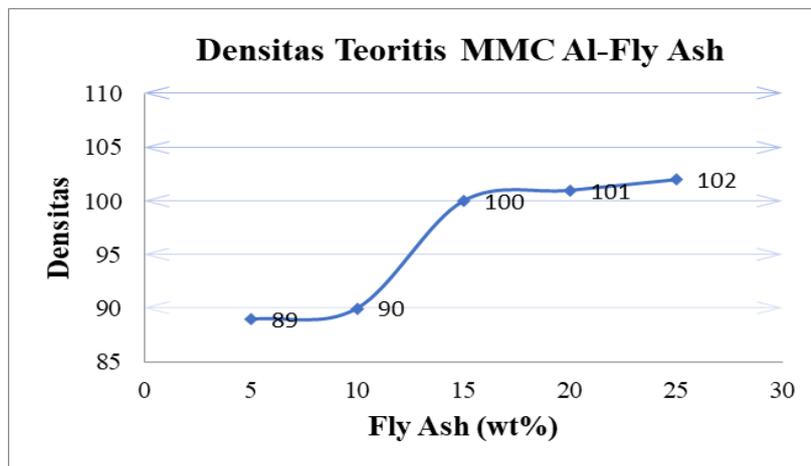
- ρ_c : Densitas komposit (g/cm³)
- ρ_r : Densitas *reinforcement* (g/cm³)
- ρ_m : Densitas matrik (g/cm³)
- V_r : Fraksi volume *reinforcement* (%)
- V_m : Fraksi volume matrik (%)

Dari rumusan tersebut hasil yang ditunjukkan secara teoritis memberikan peningkatan kerapatan spesimen MMC Aluminium *Fly Ash*. Semakin tingginya nilai kerapatan komposit maka nilai kekerasan yang dihasilkan juga akan semakin meningkat [9]. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Densitas Teoritis MMC Aluminium *Fly Ash*

No	MMC Al- <i>Fly Ash</i>	ρ_m (g/cm ³)	ρ_r (g/cm ³)	V_m (g)	V_r (g)	ρ_c (g/cm ³)
1	95 : 5	2,7	2,2	38	2	89
2	90 : 10	2,7	2,2	36	4	90
3	85 : 15	2,7	2,2	34	6	100
4	80 : 20	2,7	2,2	32	8	101
5	75 : 25	2,7	2,2	30	10	102

Secara grafik nilai kerapatan yang dihasilkan dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2: Grafik Nilai Kerapatan MMC Aluminium *Fly Ash*

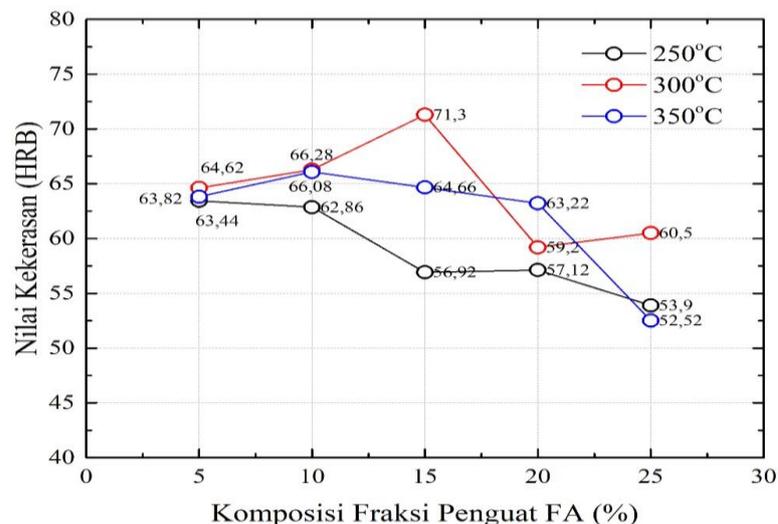
Pengujian secara eksperimental spesimen MMC Aluminium *Fly Ash* dengan menggunakan metode pengujian *Rockwell Hardness Tester* menunjukkan hasil yang berbeda dibandingkan dengan hasil perhitungan. Hasil pengujian menunjukkan tetap meningkatnya nilai kekerasan spesimen tapi dalam kadar / variasi fraksi dan pemberian temperatur pemanasan tertentu [10], kemudian disusul dengan mulai menurunnya nilai kekerasan dari spesimen MMC Aluminium *Fly Ash*. Hasil pengujian seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2: Nilai Uji Kekerasan HRB Spesimen MMC Aluminium *Fly Ash*

Temperatur (°C)	Variasi Fraksi Aluminium : <i>Fly Ash</i> (%)				
	95:5	90:10	85:15	80:20	75:25
250	63,44	62,86	56,92	57,12	53,9
300	64,62	66,28	71,3	59,2	60,5
350	63,82	66,08	64,66	63,22	52,52

Hasil penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 2 untuk pengujian *rockwell hardnes tester* dimana nilai kekerasan berdasarkan variabel pemanasan cetakan pada temperatur 250°C spesimen MMC Aluminium *FlyAsh* dengan setelah pengujian didapati nilai kekerasan tertinggi dalam penelitian ini dimiliki spesimen MMC dengan variasi fraksi Aluminium- *Fly Ash* 90 : 5 % dengan nilai kekerasan sebesar 63,44 HRB dan nilai kekerasan terendah pada spesimen dengan variasi fraksi 75 : 25 % dengan nilai kekerasan sebesar 53,9 HRB. Kemudian pada indikator garis merah menunjukkan nilai kekerasan berdasarkan variabel pemanasan cetakan pada temperatur 300°C spesimen MMC Aluminium – *Fly Ash* dengan setelah pengujian, dimana nilai kekerasan tertinggi dimiliki spesimen MMC dengan variasi fraksi Aluminium – *Fly Ash* 85 : 15 % dengan nilai kekerasan sebesar 71,3 HRB dan nilai kekerasan terendah pada spesimen dengan variasi fraksi 80 : 20 % dengan nilai kekerasan sebesar 59,2 HRB

Nilai kekerasan terendah pada spesimen dengan variasi fraksi 80 : 20 % dengan nilai kekerasan sebesar 59,2 HRB kemudian naik kembali seiring pada penambahan *Fly Ash* 25% dengan nilai kekerasan 60,5 HRB. Nilai kekerasan pada temperatur pemanasan cetakan 300°C untuk setiap spesimen dengan variasi fraksi *Fly Ash* disini mengalami peningkatan nilai kekerasan seiring dengan bertambahnya kadar persentase *Fly Ash* tetapi mengalami penurunan nilai kekerasan setelah penambahan 15% *Fly Ash*. Selanjutnya pada temperatur cetakan 350 °C menunjukkan kekerasan spesimen MMC Aluminium – *Fly Ash* dengan setelah pengujian, dimana nilai kekerasan tertinggi dimiliki spesimen MMC dengan variasi fraksi Aluminium *Fly Ash* 90 : 10 % dengan nilai kekerasan sebesar 66,08 HRB dimana kenaikan ini kemudian mengalami penurunan secara konstan pada penambahan persentase *Fly Ash* setelahnya. Dan nilai kekerasan terendah pada spesimen dengan variasi fraksi 75 : 25 % dengan nilai kekerasan sebesar 52,52 HRB. Dari data diatas ditunjukkan grafik kekerasan spesimen MMC yang dihasilkan, dan dapat dilihat pada Gambar 3.

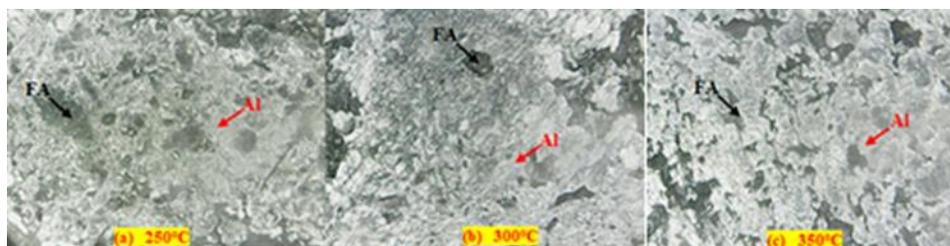


Gambar 3: Grafik Nilai Kekerasan MMC Aluminium *Fly Ash*

Pada keseluruhan temperatur pemanasan cetakan dengan variasi serbuk Aluminium dan *Fly Ash* yang digunakan dalam pembuatan MMC Aluminium *Fly Ash*, kenaikan kekerasan tertinggi dimiliki oleh specimen MMC dengan variasi Aluminium *Fly Ash* sebesar 90 :10 % pada keseluruhan temperature pemanasan cetakan (250 °C, 300 °C, 350°C) sebesar 65,07 HRB dan kekerasan terendah pada variasi Aluminium *Fly Ash* 75 : 25 % dengan nilai kekerasan sebesar 55,64 HRB. Kenaikan kekerasan terjadi hanya pada penambahan *Fly Ash* hingga 10 -15 % seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Menurunnya sifat mekanis specimen disebabkan salah satunya karena kualitas *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini masih memiliki kandungan impurities/pengotor sehingga ikatan antar partikel yang terbentuk tidak maksimal [11]. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 6.

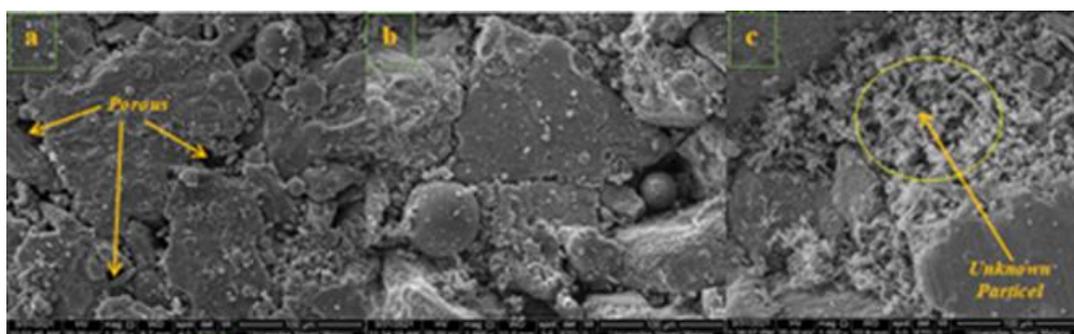
3.2 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan dengan menggunakan *microscope optic* dilakukan untuk mengetahui persebaran partikel yang terjadi . Warna area yang ditunjukkan dalam Gambar 4 dimana indikator area berwarna hitam merupakan partikel dengan unsur Mg^2Si dan partikel yang berwarna putih abu-abu dengan unsur Fe^3Al [12]. sehingga dapat disimpulkan bahwa area berwarna putih keabu-abuan adalah area Aluminium dan area hitam berupa area *fly ash*.



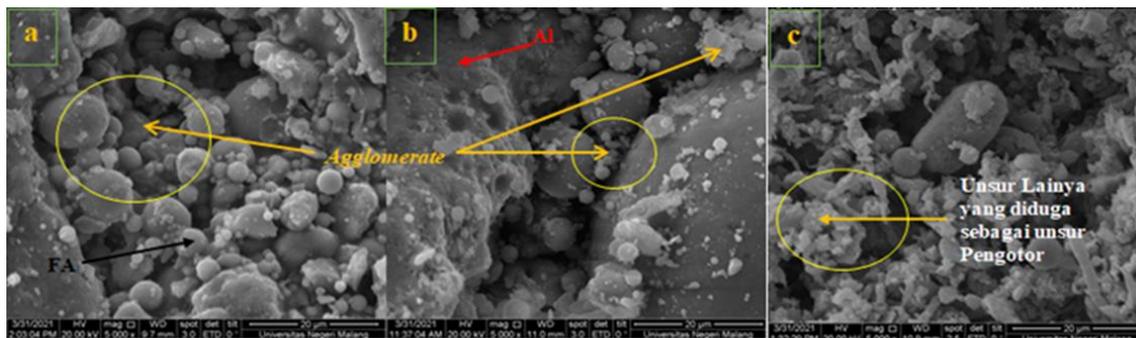
Gambar 4: (a) Permukaan MMC Aluminium *Fly Ash* Pada Temperatur Cetakan 250°C ; (b) Pada Temperatur Cetakan 300°C dan ; (c) Pada Temperatur Cetakan 350°C Pada Setiap Variasi Fraksi Menggunakan *Microscope Optic*

Kemudian melalui pembesaran permukaan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 (a) *fly ash* ditunjukkan berupa butiran *spherical*/bulatan menyebar dan mengisi celah matrik Aluminium tetapi masih terdapat celah yang belum terisi oleh *fly ash* dan sehingga masih memunculkan rongga-rongga *porous*. Sedangkan pada Gambar 5(b) butiran *fly ash* secara merata mampu menutupi celah-celah *porous* dan kerapatan yang ditunjukkan lebih baik. Pada Gambar 5(c) menunjukkan unsur lain yang menggumpal dan mengisi rongga pada matrik sedangkan butiran *fly ash* tidak begitu terlihat jelas. Penyebaran partikel yang tidak merata dan tidak munculnya indikator gambar yang menunjukkan ikatan antar partikel matrik dan penguat *fly ash* yang menyebabkan penggumpalan partikel *fly ash* pada titik tertentu [13]. Faktor lainnya disebabkan juga oleh ikatan kimia yang terbentuk, dimana partikel *fly ash* yang halus mengalami aglomerasi butiran dan tidak terdispersi ke dalam matrik secara maksimal dikarenakan gaya adhesi yang terbentuk lebih besar dari gaya kohesi, bentuk partikel *fly ash* dengan butir halus memiliki area batas butir total yang lebih luas sehingga tidak mampu menahan pergerakan dislokasi dengan baik. Walaupun demikian, pengaruh ukuran butir terhadap sifat mekanis memiliki batasan dimana butir yang terlalu halus (<10 nm) akan menurunkan sifat mekanis akibat *grain boundary sliding*.



Gambar 5: Morphology Permukaan MMC Aluminium *Fly Ash* (a) 250°C ; (b) 300°C ; (c) 350°C pada

pembesaran 1000X



Gambar 6: Morphology Partikel MMC Aluminium *Fly Ash* (a) 250°C ; (b) 300°C ; (c) 350°C pada pembesaran 5000X

Gambar 6 menunjukkan morphology permukaan MMC Aluminium *Fly Ash* yang diambil menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dimana partikel *fly ash* pada suhu penekanan berbeda mempengaruhi penyebaran partikel yang dihasilkan, dimana pada suhu penekanan 300°C dan 350°C menunjukkan penyebaran yang merata dan mengisi pori-pori matrik aluminium sehingga berdampak pada kerapatan yang dihasilkan. Sedangkan pada penekanan suhu 250°C partikel *fly ash* yang tersebar masih menyisakan *porous* pada permukaan MMC Aluminium *Fly Ash* sehingga kerapatan yang ditunjukkan kurang maksimal. Aglomerasi berlebih ditunjukkan pada suhu penekanan 250°C dimana terjadi penggumpalan partikel penguat *fly ash* dan penyebaran merata pada suhu penekanan 300°C tetapi tidak ditunjukkan adanya *necking* yang terbentuk antar partikel matrik dan penguat. Dari penyebab tersebut *fly ash* yang digunakan sebagai partikel penguat dengan *quality control* yang kurang bagus hanya dapat mengisi kekosongan pada *porous* sehingga berdampak pada persebaran partikel penguat *fly ash* sehingga hanya dapat menaikkan kekerasan spesimen dalam kadar tertentu. Pada suhu penekanan 350°C ditunjukkan munculnya unsur lain yang diduga sebagai senyawa pengotor yang berasal dari kandungan Fe yang tinggi. Kandungan Fe yang tinggi berdampak pada terbentuknya fasa intermetalik yang menyebabkan material menjadi getas [14].

4 KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian yang telah didapat dan pembahasan mengenai *fly ash* sebagai penguat dalam pembuatan metal matrik komposit, maka ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Variasi fraksi yang digunakan dalam perbandingan antara matrik dan penguat pada pembuatan MMC Aluminium-*Fly Ash* tetap memberikan dampak peningkatan sifat mekanis MMC khususnya kekerasan tetapi pada kadar tertentu.
2. Penurunan kekerasan juga ditunjukkan dalam penelitian ini. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor yaitu :
 - a) Kualitas *fly ash* sebagai penguat masih kurang bagus dengan masih munculnya kandungan pengotor yang berdampak pada menurunnya nilai kekerasan MMC Aluminium – *Fly Ash*
 - b) Kadar *fly ash* yang digunakan jika semakin tinggi, dalam kasus ini diatas 10% dapat menyebabkan aglomerasi partikel dan menurunkan nilai kekerasan pada penambahan kadar *fly ash* 15, 20, dan 25%. Aglomerasi berlebih disebabkan dari penyebaran partikel *fly ash* yang tidak terdispersi secara maksimal pada saat proses penekanan (*Hot Isotatic Pressure*).
 - c) Tidak terjadi ikatan antar partikel yang terbentuk seperti *necking* antar partikel matrik dan penguat pada saat proses sintering.
 - d) Munculnya unsur pengotor atau kandungan impurities sehingga menyebabkan terbentuknya fasa intermetalik dan membuat spesimen menjadi getas.
3. Suhu penekanan yang digunakan sangat mempengaruhi ikatan partikel antara matrik aluminium dan penguat *fly ash* dan berdampak pada perubahan sifat mekanis MMC Aluminium-*Fly Ash*. Dimana semakin tinggi suhu yang digunakan pada proses penekanan maka distribusi partikel akan semakin baik dan merata.

5 PERNYATAAN DAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Dr. Ir. Wahyono Suprpto.M.Met sebagai pembimbing I dan Dr. Femiana Gapsari, ST., MT sebagai pembimbing II

yang telah memberikan bimbingan, dorongan, saran dan masukan selama saya menjalani pendidikan dan menyelesaikan penelitian ini, serta terima kasih kepada semua pihak yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis baik dari segi moril maupun materil hingga selesainya penelitian ini.

6 DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. NAYIROH, “Teknologi material komposit,” *Yogyakarta. Ebalta* diakses dari [www. ebalta. de/rs/datasheet/en](http://www.ebalta.de/rs/datasheet/en), 2013.
- [2] V. K. SHARMA, R. C. SINGH, and R. CHAUDHARY, “Effect of flyash particles with aluminium melt on the wear of aluminium metal matrix composites,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 20, no. 4, pp. 1318–1323, 2017.
- [3] I. W. L. SUPRAPTO, K. SUARSANA, and N. SANTHIARSA, “Efek Komposisi Dan Perlakuan Sintering Pada Komposit Al/(SiCw+Al₂O₃) Terhadap Sifat Fisik Dan Keausan,” *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 1, no. 1, pp. 36–43, 2017.
- [4] O. E. MANZ, “Coal fly ash: A retrospective and future look,” *Fuel*, vol. 78, no. 2, pp. 133–136, 1999.
- [5] B. WIDODO and A. SUBARDI, “Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Aluminium Matrix Composite (Amc) Berpenguat Partikel Silikon Karbida (SiC) dan Alumina (AL₂O₃),” pp. 295–303, 2019.
- [6] M. S. HAMZAH, A. SAM, and I. MUKKAS, “P-47 Pengaruh Fraksi Berat Fly Ash Pada Komposit Matrik Serbuk Limbah Aluminium Terhadap Sifat Kekerasan "Effect Of Fly Ash Weight Fraction On The Composite Of", 2018.
- [7] T. RUSIANTO, “Hot Pressing Metalurgi Serbuk Aluminium,” *J. Teknol.*, vol. 2, pp. 89–95, 2009.
- [8] J. GINTING, “Pembuatan Komposit Matrik Logam Berpenguat Keramik (Al/SiCp) Dan Karakterisasinya Melalui Metode Metalurgi Serbuk,” 2009.
- [9] S. MALIAR, D. Jurusan, T. Sipil, M. Jurusan, and T. Sipil, “Jurnal Momentum ISSN : 1693-752X Pengaruh Penggunaan Fly Ash Sebagai Pengganti Agregat Terhadap,” vol. 17, no. 1, pp. 42–49, 2015.
- [10] D. SCITI, J. VICENS, and A. BELLOSI, “Microstructure and properties of alumina-SiC nanocomposites prepared from ultrafine powders,” *J. Mater. Sci.*, vol. 37, no. 17, pp. 3747–3758, 2002. [11] W. Suprpto, *TEKNOLOGI METALURGI SERBUK*. Solo: PENAMAS, 2015.
- [11] K. R. AHMAD, S. B. JAMALUDIN, L. BAKIR, and Z. A. AHMAD, “The Influence of Alumina Particle Size on Sintered Density and Hardness of Discontinuous Reinforced Aluminum Metal Matrix Composite,” *Influ. Alumina Part. Size Sintered Density Hardness Discontinuous Reinf. Alum. Met. Matrix Compos.*, vol. 42, no. 1, pp. 49–57, 2012.
- [13] D. V QUACH, J. R. GROZA, and A. ZAVALIANGOS, *Fundamentals and applications of field/current assisted sintering*. Woodhead Publishing Limited.
- [14] L. LU, C. Y. H. LIM, and W. M. YEONG, “Effect of reinforcements on strength of Mg9%Al composites,” *Compos. Struct.*, vol. 66, no. 1–4, pp. 41–45, 2004.
- [15] A. FLEURY, M. GREGORY, and D. BENNETT, “The future of manufacturing,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 18, no. 8, pp. 323–325, 2007.
- [16] G. F. VANDER VOORT *et al.*, “ASM handbook,” *Metallogr. Microstruct.*, vol. 9, pp. 40002–44073, 2004.
- [17] S. SREENATHA REDDY and R. DHANASEKARAN, “Effect of fly ash and basalt on wrought and cast aluminum alloy,” *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 13, pp. 27112–27117, 2018.