

# PEMBUATAN MATERIAL KOMPOSIT MATRIKS PADUAN Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> DENGAN PROSES STIRR-CASTING

Bintang Adjiantoro\* dan Bambang Sriyono

Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI

Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan

E-mail : \*rade005@lipi.go.id

Intisari

**PEMBUATAN MATERIAL KOMPOSIT MATRIKS PADUAN Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> DENGAN PROSES STIRR-CASTING.** Penelitian pembuatan material komposit matriks logam telah dilakukan dengan menggunakan metoda *stirr-casting* pada matriks paduan Al-6,2%Mg dengan penguat partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Percobaan dilakukan dengan memvariasikan persen fraksi volume partikel (2,5 ; 5,0 dan 7,5%) dan ukuran partikel (100; 200 dan 270 mesh). Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa persen fraksi volume partikel sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik dan struktur mikro dari material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub>. Semakin besar fraksi volume dan semakin halus ukuran partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ukuran besar butir relatif semakin halus pula dan distribusi partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semakin merata.

*Kata kunci : Komposit matriks logam, Paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub>, Fraksi volume penguat, Ukuran partikel penguat*

Abstract

**MANUFACTURING OF METAL MATRIX COMPOSITE MATERIAL Al-6.2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> USING STIRR-CASTING METHOD.** Manufacturing of metal matrix composite materials have been performed using *stirr-casting* method on Al-6.2% Mg as a matrix alloy using reinforce Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. The experiments were conducted by various of volume fraction of particles (2.5; 5.0 and 7.5%) and particle size (100; 200 and 270 mesh). From the experimental results showed that the percent volume fraction of the particles affects the mechanical properties and microstructure of Al alloy matrix composite materials-6.2% Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (p). The larger the volume fraction and the finer the particle size of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, large grain size is also relatively more smooth and more uniform distribution of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles.

*Keywords: Metal matrix composite , Al-6.2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(p)</sub> alloy, Volume fraction reinforce, Particle size reinforce*

## PENDAHULUAN

Komposit adalah penggabungan dua atau lebih dari matriks dan penguatnya (*reinforce*) sehingga menghasilkan sifat yang lebih baik bila dibandingkan dengan material dari matriks atau penguatnya. Matriks adalah material pengikat yang berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, menahan penyebaran retakan dan melindungi penguat dari lingkungan. Sedangkan penguat berfungsi memberikan kontribusi kekuatan pada material tersebut. Sifat-sifat dari material komposit secara umum bila dibandingkan dengan komponen-komponen penyusunnya memiliki sifat-sifat yang lebih baik antara lain ketangguhan dan kekuatan yang lebih baik, lebih ringan (*lightweight*), memiliki ketahanan terhadap korosi dan ketahanan aus yang lebih baik dan memiliki umur fati yang lebih lama.

Penggunaan komposit saat ini sangat luas pada aplikasi struktural, elektrik, termal, dan *tribological*<sup>[1]</sup>.

Komposit matrik logam (KML) biasanya memiliki penguat berupa partikel-partikel keramik atau dikenal dengan *cermet* atau *fiber* dari logam, karbon, dan boron. Keunggulan KML antara lain adalah mempunyai kombinasi yang bagus dari perbandingan kekakuan (*stiffness*)/berat dan kekuatan/berat pada temperatur kamar dan temperatur tinggi. Selain itu juga mempunyai modulus spesifik, kekuatan lelah (*fatigue strength*), ketahanan aus (*wear resistance*), ketahanan abrasi, ketahanan mulur (*creep resistance*), konduktivitas panas yang tinggi dan koefisien muai panas yang rendah. Dari keunggulan sifat-sifat tersebut, KML dapat dijadikan sebagai material substitusi dimana salah

satunya cocok digunakan pada industri otomotif<sup>[2]</sup>.

Penelitian ini difokuskan pada pembuatan komposit matrik logam. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui peningkatan sifat mekanik sebelum dan setelah ditambahkan penguat partikel  $Al_2O_3$  serta mendapatkan kondisi optimum pada proses pembuatan material komposit logam Al-6,2%Mg/ $Al_2O_{3(p)}$ .

## PROSEDUR PERCOBAAN

### Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan sebagai matrik adalah logam paduan Al-6,2%Mg dengan penguat berupa partikel/serbuk  $Al_2O_3$ . Mg berfungsi sebagai *wetting agent* dan *reactive element*.

**Tabel 1.** Komposisi kimia paduan matriks Al-6,2%Mg

(%) berat	Unsur						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ti	Al
	0,078	0,107	0,003	0,049	6,20	0,002	Bal.

### Pembuatan KML Metoda Stirr-Casting

Diagram alir proses pembuatan material KML ditunjukkan pada Gambar 1.

### Preparasi Bahan Penguat $Al_2O_3$

- Proses pengayakan untuk mendapatkan ukuran partikel
- Penimbangan fraksi volume  $Al_2O_3$  sebagai penguatan terhadap berat paduan matriks

### Pembuatan KML

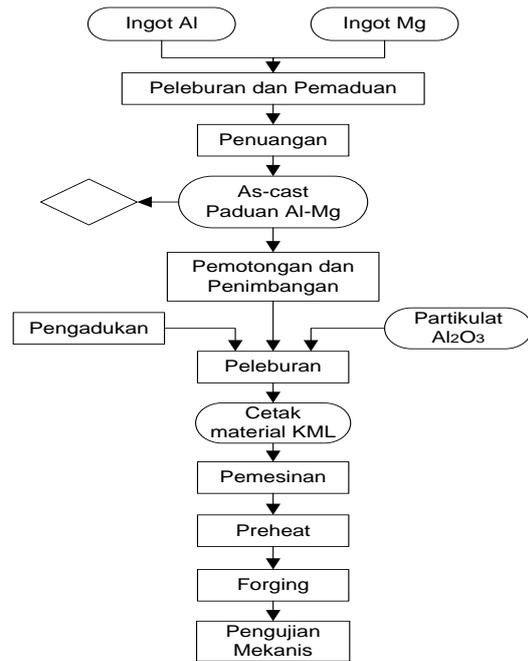
Pada proses pembuatan KML yang menggunakan metoda *stirr-casting*

#### a. Parameter proses pembuatan KML

- ukuran partikel  $Al_2O_3$ : 100, 200 dan 270 mesh
- fraksi volume partikel  $Al_2O_3$  terhadap berat matriks : 2,5 ; 5,0 dan 7,5%

#### b. Proses pembuatan KML

Paduan Al-6,2%Mg seberat 300 gram dilebur dalam krusibel menggunakan tungku muffle kemudian tahan pada temperatur 740 °C selama ± 30 menit.



**Gambar 1.** Diagram alir pembuatan material komposit matriks paduan Al-Mg/ $Al_2O_{3(p)}$ .

Masukan partikel  $Al_2O_3$  yang telah dibasahi terlebih dahulu dengan larutan aluminium nitrat  $Al(NO_3)_3$  dan lakukan pengadukan dengan menggunakan pengaduk (*stirrer*) yang di desain dengan kecepatan 2500 rpm hingga partikulat yang ada di dalam matriks terdistribusi secara merata dan tuangkan ke dalam cetakan. Gambar 2 adalah proses pengadukan cairan logam matriks dengan penguatan partikel  $Al_2O_3$ , sedangkan Gambar 3 menunjukkan hasil coran dari material KML. Pembuatan material komposit dilakukan dengan metode *Stirr-casting*. Metoda *Stirr-casting* merupakan proses pembuatan komposit dengan cara penuangan yang sebelumnya mengalami proses pengadukan pada kondisi cair (*molten*) ( $S + L$ )<sup>[3]</sup> dengan batasan parameter ; persen fraksi volume partikel  $Al_2O_3$  dan ukuran partikel. Hasil *stirr casting* kemudian dipanaskan pada suhu sekitar 450 °C (*semi solid area*) untuk dilakukan proses tempa (*forging*) dengan tujuan agar partikel  $Al_2O_3$  tidak mengelompok dan lebih terdistribusi di dalam matriks serta mengurangi *macrosegregation*, dan porositas<sup>[4-5]</sup>. Pengujian yang dilakukan terhadap komposit matrik logam yang dihasilkan meliputi : uji kekuatan tarik, kekerasan, ketahanan aus dan metalografi.



**Gambar 2.** Proses pengadukan komposit matrik logam dengan penguat  $Al_2O_{3(p)}$



**Gambar 3.** Hasil coran material komposit matrik logam

Gambar 4 menunjukkan hasil coran dari komposit matrik logam yang sudah mengalami pembubutan.



**Gambar 4.** Komposit matrik logam hasil proses pembubutan

Gambar 5 menunjukkan visual dari material matriks dan komposit matriks logam hasil tempa.



**Gambar 5.** (a) Material matriks; (b) komposit matrik paduan Al-6,2%Mg/ $Al_2O_{3(p)}$  hasil tempa

Pengujian kekerasan metoda *Hardness Brinell* (HB) dilakukan untuk mengetahui perubahan kekerasan material komposit. Pengujian kekerasan *Brinell* menggunakan indentor bola baja diameter (D) = 5 mm, dengan pembebanan (P) sebesar 62,5 kg.

Jenis pengujian keausan yang digunakan pada penelitian ini adalah keausan abrasi. Pengujian ini dihitung melalui kehilangan

berat benda uji. Pengujian ini menggunakan kertas ampelas dengan ukuran grit 400. Langkah-langkah pengujian abrasif adalah sebagai berikut:

- Meratakan permukaan benda uji yang akan diuji.
- Penimbangan awal.
- Memasang benda uji pada pegangan spesimen (*holder*) yang terdapat di mesin uji abrasi.
- Memasang kertas ampelas pada piringan mesin uji abrasi.
- Menghidupkan mesin uji abrasi, dengan putaran piringan berkecepatan 54 rpm.
- Tempelkan benda uji tersebut pada kertas ampelas yang berputar dengan memberikan gaya penekanan seberat 6 kg. Lamanya waktu pengujian abrasi adalah 30 menit.
- Penimbangan akhir.

Harga keausan abrasi dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [6].

$$\Delta W = W_{(awal)} - W_{(akhir)}$$

$$\text{Keausan abrasif} = \frac{\Delta W}{\text{keliling lingkaran} \times T \times \text{rpm}} \times 1000 \left(\frac{g}{m}\right)$$

Dimana :

W : Berat benda uji

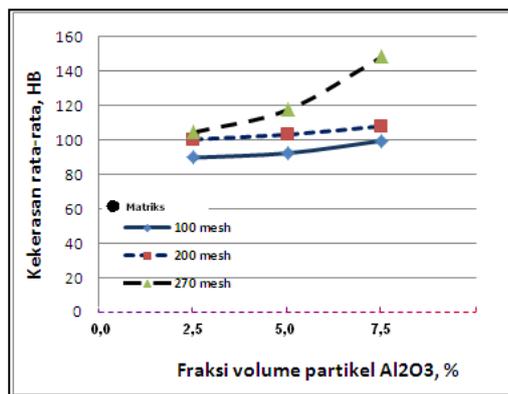
$\Delta W$  : Total kehilangan berat

T : Waktu

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kekerasan

Hasil uji kekerasan ditunjukkan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut terlihat bahwa perubahan kekerasan dari paduan Al-6,2%Mg dan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/ $Al_2O_{3(p)}$  meningkat dengan penambahan fraksi volume partikel  $Al_2O_3$ .



**Gambar 6.** Pengaruh fraksi volume partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap kekerasan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub>

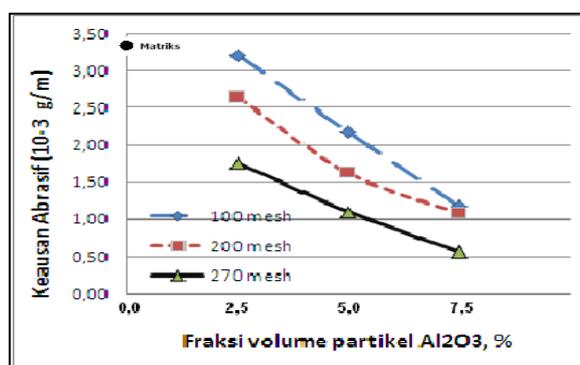
Perubahan kekerasan pada material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub> sangat dipengaruhi oleh besarnya fraksi volume partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang ditambahkan. Namun, faktor lain seperti distribusi partikel yang tidak seragam dalam coran akan memberikan nilai kekerasan yang berbeda pula.

Dari data hasil percobaan menunjukkan kekerasan komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub> meningkat dengan meningkatnya persentase berat partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam coran. Nilai kekerasan yang lebih tinggi diperoleh pada penambahan fraksi volume Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 7,5%. Kekerasan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub> tertinggi adalah 148,4 HB atau meningkat sekitar 145% dari kekerasan matriks paduan Al-6,2%Mg yang diperoleh dari penambahan fraksi volume 7,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada ukuran partikel 270 mesh. Hal ini terjadi karena selain persentase berat, variasi ukuran partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga berperan di dalam peningkatan kekerasan, dimana semakin halus ukuran partikel nilai kekerasan yang diperoleh semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin padat distribusi partikel penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di dalam matriks paduan Al-6,2%Mg.

### Kearsan Abrasi

Pengujian abrasi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan ketahanan abrasi dari paduan Al-6,2%Mg dan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub>. Hasil pengujian keausan abrasi paduan Al-6,2%Mg dan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub> ditunjukkan pada Gambar 7. Dari gambar tersebut terlihat bahwa

tingkat keausan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub> lebih tinggi dibanding tingkat keausan matriks paduan Al-6,2%Mg. Nilai ini ditunjukkan dengan kehilangan berat yang relatif lebih kecil pada beban dan jumlah siklus pengujian yang sama. Semakin besar penambahan fraksi volume partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, nilai ketahanan aus semakin naik menjadi  $1,25 \times 10^{-3}$  g/m. Demikian pula dengan pengaruh variasi ukuran partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dimana semakin halus ukuran partikel, nilai ketahanan aus yang diperoleh semakin meningkat mencapai  $0,5 \times 10^{-3}$  g/m. Hal ini disebabkan semakin padat distribusi partikel penguatan abrasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di dalam matriks paduan Al-6,2%Mg.



**Gambar 7.** Pengaruh fraksi volume partikel Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap keausan material komposit matriks paduan Al-6,2%Mg/Al<sub>2</sub>O<sub>3(P)</sub>

### Metalografi

Hasil metalografi paduan Al-6,2%Mg yang digunakan sebagai logam matriks dalam pembuatan material KML, ditunjukkan pada Gambar 8. Struktur yang terbentuk di dalam paduan matriks adalah struktur dendrit dengan fasa  $\alpha$ -Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> yang dihasilkan oleh pendinginan lambat (Gambar 8).

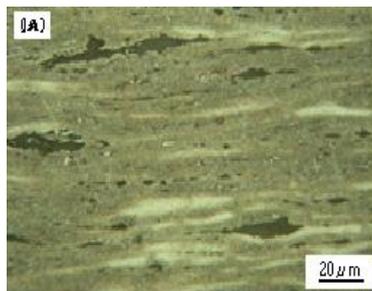


**Gambar 8.** Struktur mikro paduan Al-6,2%Mg. Etsa : Keller Reagent

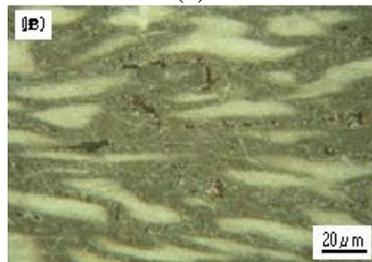
Senyawa intermetalik Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> hadir hanya dalam paduan dengan kadar magnesium

tinggi<sup>[7]</sup>. Selain itu, kelarutan padat magnesium dalam aluminium cukup tinggi. Senyawa  $Mg_5Al_8$  sebagai jaringan (*network*) pada batas butir (*intergranular*), sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan.

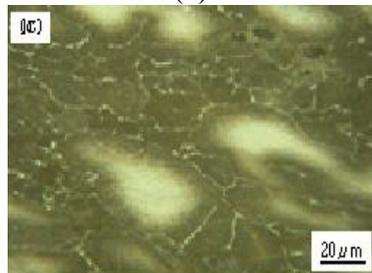
Gambar 9-11 menunjukkan foto struktur mikro dari komposit matriks logam dengan variasi ukuran matriks dan fraksi volume  $Al_2O_3$  sebagai penguat.



(a)

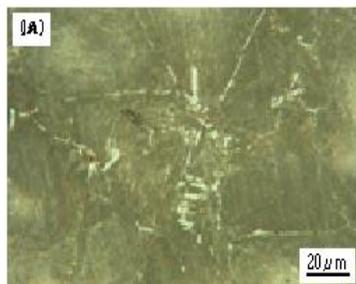


(b)

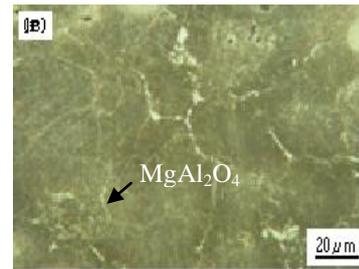


(c)

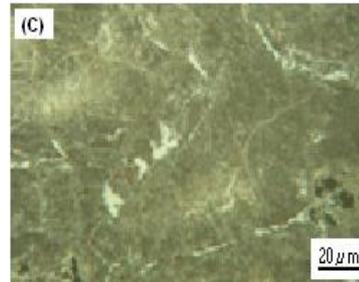
**Gambar 9.** Struktur mikro komposit matriks paduan  $Al-6,2\%Mg/Al_2O_{3(p)}$  dengan ukuran partikel 100 mesh dan volume fraksi penguat sebesar : (a) 2,5%; (b) 5% (c) 7,5%. Etsa : *Keller Reagent*



(a)

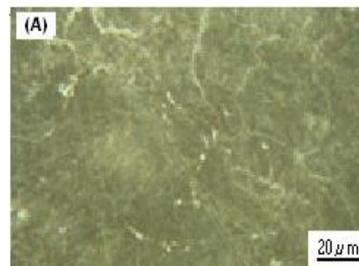


(b)

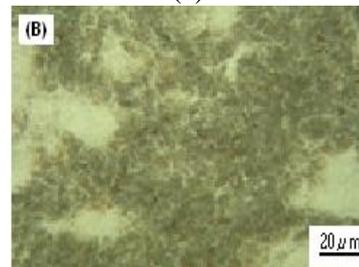


(c)

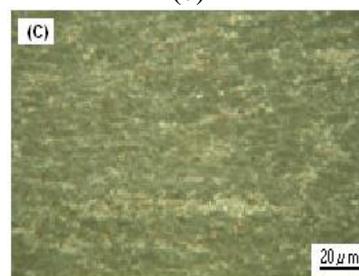
**Gambar 10.** Struktur mikro komposit matriks paduan  $Al-6,2\%Mg/Al_2O_{3(p)}$  dengan ukuran partikel 200 mesh dan volume fraksi penguat sebesar : (a) 2,5%; (b) 5% (c) 7,5%. Etsa : *Keller Reagent*



(a)



(b)



(c)

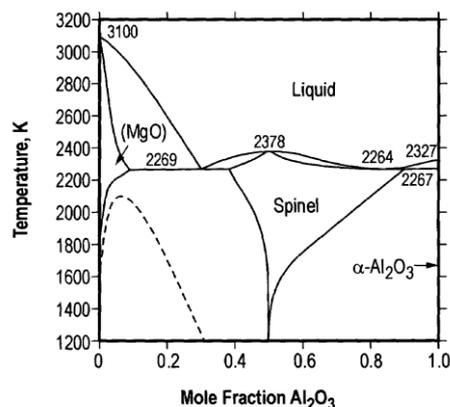
**Gambar 11.** Struktur mikro komposit matriks paduan  $Al-6,2\%Mg/Al_2O_{3(p)}$  dengan ukuran partikel 270 mesh dan volume fraksi penguat sebesar : (a) 2,5%; (b) 5% (c) 7,5%. Etsa : *Keller Reagent*

Berdasarkan hasil penelitian<sup>[7]</sup> bahwa pembentukan lapisan spinel ( $MgAl_2O_4$ ) pada permukaan partikel  $Al_2O_3$  meningkatkan mampu basah (*wettability*) antara matrik Al dan penguat  $Al_2O_3$ , fase spinel ( $MgAl_2O_4$ ) yang terbentuk pada permukaan  $Al_2O_3$  menjadi pengikat (*binder*) antara matrik Al dengan penguat  $Al_2O_3$  pada komposit Al/ $Al_2O_3$ .

Fungsi dielektrik dan fungsi kerugian untuk spinel ( $MgAl_2O_4$ ) ditentukan dengan menggunakan *fourier-transform infrared ellipsometry* 250-1000  $cm^{-1}$ <sup>[8]</sup>. Hasil metalografi pada material komposit matriks paduan Al-6,2% $Mg/Al_2O_{3(p)}$  menunjukkan distribusi partikel  $Al_2O_3$  di dalam matriks paduan Al-6,2% $Mg$  seperti terlihat pada Gambar 9, 10 dan 11. Pengendapan partikel  $Al_2O_3$  pada umumnya terjadi pada batas butir (Gambar 9 dan 10) dan semakin besar fraksi volume dan semakin halus ukuran partikel  $Al_2O_3$  ukuran besar butir relatif semakin halus pula, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Struktur mikro komposit matriks paduan Al-6,2% $Mg/Al_2O_{3(p)}$  (*particle size* 270 mesh) seperti ditunjukkan pada Gambar 11 teramati bahwa distribusi partikel  $Al_2O_3$  semakin merata dan kerapatan partikel semakin meningkat sehingga menghasilkan harga kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ukuran partikel  $Al_2O_3$  yang lain.

Peningkatan sifat mekanik (kekerasan dan ketahanan aus) dihasilkan selain dari adanya partikel  $Al_2O_3$  yang mengendap di dalam matriks paduan Al-6,2% $Mg$ , juga akibat terbentuknya fasa spinel magnesium aluminate ( $MgAl_2O_4$ ) dari hasil reaksi oksida Al dengan Mg.

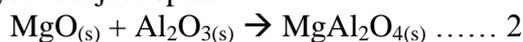
Proses pembentukan spinel memerlukan kehadiran magnesium pada sistem. Berdasarkan diagram Keseimbangan MgO -  $Al_2O_3$ <sup>[9]</sup> (Gambar 12). Mekanisme pembentukan reaksi produk pada KML adalah logam Mg teroksidasi oleh udara membentuk MgO (ini terjadi pada temperatur cair aluminium tercapai).



**Gambar 12.** Diagram Keseimbangan MgO -  $Al_2O_3$ <sup>[9]</sup>



Reaksi interdifusi antara MgO juga terbentuk dengan lapisan alumina pada permukaan aluminium berubah dari MgO layer menjadi spinel<sup>[8]</sup>.



Lapisan spinel ini tidak protektif oleh sebab itu dengan mudah dibasahi oleh aluminium akibat infiltrasi aluminium.

## KESIMPULAN

Proses pembuatan keramik matrik logam dengan matrik paduan Al-Mg dan penguat  $Al_2O_3$  dengan ukuran partikel dan fraksi volume yang bervariasi telah dipelajari. Hasilnya menunjukkan bahwa kekerasan dan keausan dari keramik matrik logam meningkat seiring dengan adanya peningkatan fraksi volume dan kehalusan ukuran partikel penguat. Fraksi volume tertinggi dari  $Al_2O_3$  adalah sebesar 7,5% yang menghasilkan harga kekerasan 149 HB dan nilai keausan  $0,5 \times 10^{-3}$  g/m. Fenomena lain adalah terbentuknya fasa magnesium aluminate ( $MgAl_2O_4$ ) yang terjadi dari hasil reaksi oksida Al dengan Mg.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Geng Lin, Huang Lu-jun. 2010., „Effects of Mg content on microstructure and mechanical properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al-Mg composites fabricated by semi-solid stirring technique”. *School of Materials Science and Engineering*, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China.
- [2] Kon Bae Lee, and Hoon Kwon. 2006., „Fabrication of Al-3 Wt Pct Mg Matrix Composites Reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particulates by the Pressureless Infiltration Technique”. *Metallurgical and Materials Transactions.*: Vol. 29A.
- [3] Ho Soe Young. 1997., „The Effect of Applied Pressure on Particle Dispersion Characteristics and Mechanical Properties in Melt Stirring Squeeze Cast SiC(p)/Al Composites”. *Journal of Materials Processing Technology.*: No.55, pp. 370-377.
- [4] M. C. Flemings.1991., „Behavior of metal alloys in the semisolid state”. *Metallurgical Transactions A.*: vol. 22, no. 5, pp. 957–981, 1991.
- [5] H. V. Atkinson. 2010., „Semisolid processing of metallic materials”. *Materials Science and Technology.*: vol. 26, no. 12, pp. 1401–1413.
- [6] ASTM G99-04. 2004. Standard Test Method for wear Testing with a Pin-on Disk Apparatus. Philadelphia.
- [7] Kurniawati, Wahyu. 2011., „The Coating of Spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> with Coprecipitation Method for SiC Particle and Varying Sinter Time of Al/SiCp Composite”. *Departement of Physics Faculty Of Mathematics And Natural Sciences.*: Sepuluh Nopember Institute Of Technology Surabaya.
- [8] Christian J. Zollner. 2013., „FTIR Ellipsometry Studies of Spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)”. *School of Applied and Engineering Physics.*: Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA.
- [9] US 7045223 B2. 2006., „Single crystals; reducing stresses”, melt processability.

