

PENGARUH KECEPATAN PENGADUKAN DAN PENAMBAHAN PERSENTASE MAGNESIUM TERHADAP KEKERASAN DAN LAJU AUS KOMPOSIT MATRIK LOGAM DENGAN METODE *STIR CASTING*

Arman¹⁾

Abstract: The characteristic of MMCs with stir casting method are influenced by speed of the stirrer, temperature process, percentage of magnesium and volume fraction. This research is stressed on the effect speed of stirrer and percentage of magnesium to characteristic of MMCs (Al/Al₂O₃) as a product of stir casting process. Materials used in this research are powder (Al₂O₃), Aluminum ingot and Al-31,3%Mg ingot as wetting agent, and Argon as gas of inert. The parameters used in MMCs manufacturing are stir casting with speed of stirrer 520 and 1510 rpm, at temperature 550oC and percentage of magnesium of 2, 5, 8, 10, 15% wt (material balance process).

From this research result is obtained that high of speed stirrer and held up of magnesium will improve characteristic from metal matrix composite. At this research is obtained by speed of stirrer 1510 rpm and 15 % Mg have composite optimum characteristic of hardness 98 HBN and wear resistance $3,59 \times 10^{-6}$ /mm³/mm of 1510 rpm and 10 % Mg.

Key Words: Speed of stirrer ,percentage of Magnesium, Stir-casting, characteristic MMC.

I. PENDAHULUAN

Komposit Matrik Logam (KML) adalah material rekayasa yang dibuat dari penggabungan dua atau lebih material konvensional dimana logam sebagai matrik dan mempunyai sifat-sifat yang lebih unggul bila dibandingkan dengan material pembentuknya (material awal).^[1] Keberhasilan pembuatan Komposit Matrik Logam (KML) dapat dilihat dengan adanya endapan struktur penguat pada matriknya.^[2] Jumlah fraksi volum dari struktur penguat yang relatif besar dengan distribusi yang homogen akan memperbaiki sifat mekanis dari logam sebagai matriknya. Namun untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik serta distribusi partikel yang homogen sulit dicapai karena sifat mampu basah matrik logam pada umumnya sangat rendah.^[3] Oleh karena itu beberapa modifikasi berupa penambahan persentase *wetting agent* maupun metode pembuatannya terus disempurnakan.

Salah satu metode pembuatan KML yang terus disempurnakan adalah dengan teknologi lelehan logam (*stir casting*). Biaya produksi dengan menggunakan teknologi

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang

ini lebih rendah, khususnya pembuatan material dengan partikel Al_2O_3 . [4] Metode Stir casting prinsip dasarnya adalah dengan pengadukan lelehan logam berupa matrik dan penguatnya kemudian dituangkan kedalam cetakan. [5] Aplikasi KML Al/ Al_2O_3 bisa digunakan sebagai substitusi komponen otomotif yang bergerak seperti piston, connecting rod, Cylinder liner atau komponen yang bergerak lainnya akan dapat menghemat energi. [6]

Penggabungan aluminium sebagai matrik dan Al_2O_3 sebagai penguat pada metode stir casting untuk mendapatkan KML Al- Al_2O_3 adalah suatu hal yang wajar. Faktor penting untuk mendapatkan distribusi yang merata pada metode ini adalah pengaruh kecepatan pengadukan, sedangkan untuk mengatasi kemampuan pembasahan (wetting) yang rendah antara aluminium dan Al_2O_3 dengan penambahan dopant berupa logam Mg. [7] Oh menyebutkan dalam pembuatan KML Al/ Al_2O_3 Mg lebih reaktif dibandingkan Si. [8]

Faktor utama yang menentukan peningkatan sifat mekanis dari KML salah satunya adalah sifat mampu basah (wettability) antar muka logam cair dan material penguatnya, atau gaya ikat antar muka logam matrik dengan penguatnya. [8] Reaksi antar muka ini seringkali menghasilkan fasa getas yang akan mempengaruhi sifat mekanis dari KML.

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan pembuatan KML metode stir casting, untuk mempelajari pengaruh penambahan Mg 2, 5, 8, 10 dan 15% wt dan kecepatan pengadukan 520 dan 1510 rpm dengan lama pengadukan 10 menit serta ditambahkan penguat berupa serbuk Al_2O_3 dengan ukuran rata-rata 150 mesh 20% Vf. Hasil dari coran berbentuk batang selanjutnya dikarakterisasi dengan pengujian yang meliputi kekerasan, ketahanan aus, analisa struktur mikro dengan mikroskop optik, SEM, EDX dan XRD.

II. METODE PENELITIAN

Bahan-bahan

Logam yang digunakan sebagai matrik pada pembuatan komposit matrik logam adalah aluminium murni, dengan komposisi kimia seperti ditunjukkan pada tabel 1. Adapun jenis penguat yang digunakan adalah Al_2O_3 dalam bentuk serbuk ukuran rata-rata 150 μm yang setiap percobaan ditambahkan sebanyak 20% berat, karakterisasinya dapat dilihat pada tabel 3. Sedangkan untuk persentase penambahan magnesium dengan material *balance* paduan Al-31,3%Mg sebanyak 2, 5, 8, 10 dan 15% wt, komposisi kimianya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji komposisi ingot aluminium

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Sn	Cd	Al
0,053	0,104	0,000	0,000	0,00	0,19	0,004	0,0022	0,001	0,002	99,67
3	9	3	4	1	5	3		7		

Sumber: Hasil pengujian Alumindo Perkasa

Tabel 2. Hasil uji komposisi ingot magnesium

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Ni	Pb	V	Al
0,09	0,14	0,016	0,111	31,3 1	0,01 1	0,004	0,004	0,00 7	0,013	68,23

Sumber: Hasil pengujian Oripax Oriental

Tabel 3. Sifat fisik alumina

Karakteristik	Besaran
Density	3,81 gr/cm ³
Ukuran butir	150 μ m
Kekasaran permukaan,	162 μ m
Butiran	100 mesh
Warna	Putih

Sumber: Hasil Pengujian Merck

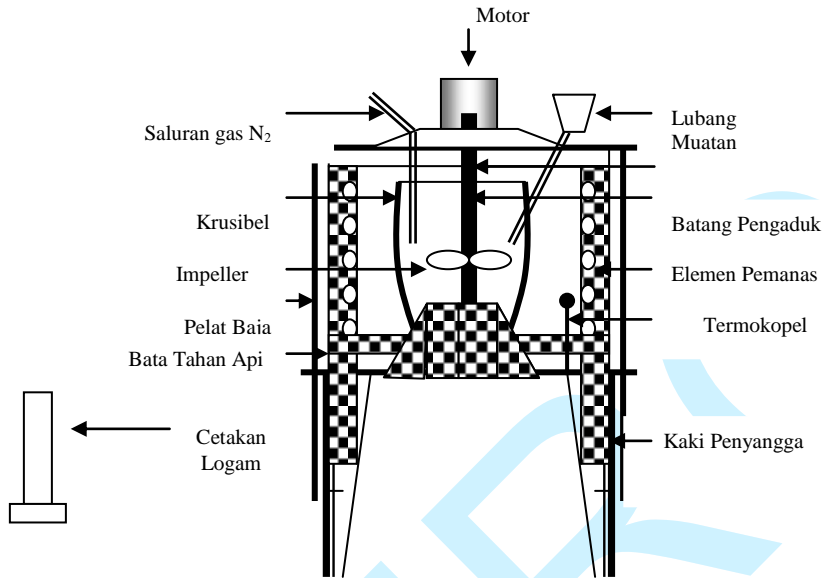
Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam percobaan untuk membuat KML, meliputi:

- Tungku pemanas jenis *muffle*
- Tungku pengadukan jenis *melt stirring*
- Cetakan logam
- Timbangan analitik
- Alat pengukur waktu

Pembuatan Komposit Matrik Logam

Gambar skematis proses pembuatan KML dari aluminium sebagai matrik dan Al₂O₃ sebagai penguat ditunjukkan pada Gambar 1 Tungku pengaduk cairan logam yang dilengkapi dengan pemanas elektrik, didalamnya terdapat krusibel grafit lengkap dengan batang pengaduk yang digerakkan oleh motor listrik. Suhu pemanasan dapat diset melalui panel kontrol. Selama proses pengadukan berlangsung gas Argon dihirupkan kedalam tungku, untuk menghindari terjadinya oksidasi didalam logam matriknya (*degassing*).



Gambar 1. Skematis Peralatan Pembuatan KML dengan Penguatan Partikel

Prosedur Pengujian

Setelah bahan dan peralatan pembuatan KML disiapkan, proses pembuatannya dilakukan dengan mengikuti tahapan sebagai berikut:

- Ingot Al murni dimasukkan kedalam tungku kapasitas 20000 gr, dipanaskan sampai mencair pada suhu 700°C .
- Selanjutnya Memasukkan ingot Al-31,3 %Mg (material *balance* sesuai dengan kebutuhan variasi 2, 5, 8, 10, 15%wt Mg) setelah Al mencair temperatur dijaga pada $700^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$.
- Mengaduk paduan Al- Mg dengan bantuan batang pengaduk (manual).
- Persiapan serbuk Alumina sesuai kebutuhan 117,49 gr (20% Vf), dipanaskan pada suhu 800°C pada pada krusibel kapasitas 250 gr, untuk dituangkan kedalam leburan paduan.
- Masukkan logam paduan Al-Mg (variasi 2, 5, 8, 10 dan 15%wt Mg) kedalam krusibel grafit kapasitas 600 gr, masukkan serbuk Al_2O_3 (20% Vf) sedikit demi sedikit kedalam leburan paduan Al-Mg hingga kedua material bercampur menjadi satu membentuk komposit sambil dilakukan pengadukan secara manual (pengadukan tahap I) dalam lingkungan gas Argon.
- Memanaskan kembali komposit sampai temperatur $550 \pm 50^{\circ}\text{C}$, hingga layak untuk diaduk secara otomatis yang digerakkan oleh motor listrik (pengadukan tahap II) pada kecepatan pengadukan 520 dan 1510 rpm, dengan variasi Mg 2, 5, 8, 10 dan 15% berat.

- Tuangkan Leburan komposit kedalam cetakan logam, kedalam cetakan logam berbentuk selinder dengan ukuran $D = 50 \text{ mm} \times L = 300 \text{ mm}$.

Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji komposit yang dipengaruhi oleh kecepatan dan penambahan magnesium antara lain:

- **Pengujian Kekerasan.**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan dari spesimen hasil percobaan duntuk masing-masing perlakuan dan kondisi. Pengujian ini dilakukan dengan pengujian kekerasan makro metode Brinell. Pada pengujian kekerasan Brinell nilai kekerasan suatu bahan ditentukan dengan diameter jejak dari indenter pada spesimen^[9]. Pada pengujian ini menggunakan mesin uji kekerasan Brinell merk: *Brevetty AFFRI* indenter bola baja dengan $D = 2,5 \text{ mm}$, beban $P = 62,5 \text{ Kg}$. Hasil atau nilai kekerasan dari spesimen dapat langsung dilihat pada mesin uji.

- **Pengujian Keausan.**

Prinsipnya adalah dengan menggesekkan material/spesimen pada cincin putar sehingga terbentuk celah atau jejak, kemudian jejak tersebut diukur volumenya^[10,13]. Parameter pengujian keausan adalah dengan jarak luncur (x) = 66,6 m, tebal cincin putar (B) = 3,3 mm, dan jari-jari cincin putar (r) = 29,4 mm. Jejak yang didapat pada spesimen dilihat dan diukur celah abrasinya dengan menggunakan mikroskop optik.^[10]

- **Pengujian Metalografi.**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk dari struktur mikro sample untuk masing-masing kondisi sampel^[9]. Dengan menggunakan foto mikroskop optik. Pengamplasan dan *Poleshing* dengan menggosok sampel pada mesin poles dengan kertas amplas mulai dari ukuran: # 120, #240, #400, #600, #800, #1000, #1200 sampai permukaan sample rata dan orientasinya searah. Setelah itu sampel dipoles dengan menggunakan larutan alumina 0,05 mikron.

- **Pengujian Komposisi Kimia**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia hasil coran KML Al/Al₂O₃ secara kuantitatif unsur yang terkandung pada sampel untuk beberapa kondisi pengujian.

- **Pengujian SEM dan EDX**

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui secara kuantitatif unsur yang terkandung dan fasa baru yang terbentuk pada sample untuk masing-masing kondisi pengujian, dan dapat digunakan sebagai pembandingan dari hasil uji yang diperoleh dari hasil pengamatan mikroskop optik^[9]. Uji SEM berguna untuk mengetahui mikrostruktur dengan pembesaran sampai 2000 x dan EDX yang merupakan bagian dari uji SEM yang dapat digunakan untuk mengetahui atau identifikasi unsur dari hasil foto SEM. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan pendekatan area (bidang) maupun titik.^[11]

- **Pengujian XRD**

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui senyawa baru yang terbentuk dari sampel uji secara kualitatif^[9]. Pengujian dilakukan dengan mesin uji XRD merk

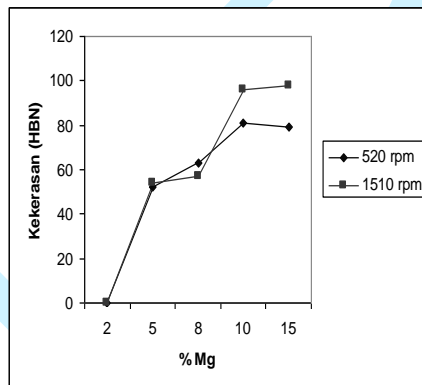
Philips. Parameter uji dengan $\text{CuK}\alpha$ 1,54439, sudut *scan* dari 0° sampai 98° , *step size* (2θ), *time per step* 1s. Dan analisa hasil XRD menggunakan software JCPDS-*International Centre for Diffraction Data*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor yang penting pada pembuatan KML adalah ditunjukkan dengan adanya struktur penguat yang terdistribusi secara *uniform*. Interaksi antara partikel Al_2O_3 dan Al sebagai matrik terdistribusi secara merata akan meningkatkan sifat mekanik dari KML hasil *stir casting*.

Kekerasan

Dari data penelitian yang diperoleh maka nilai kekerasan dari masing-masing kondisi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Persentase Mg dengan Kekerasan pada Variasi Kecepatan Pengadukan

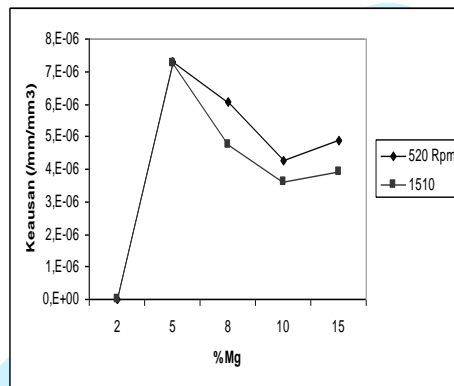
Sifat kekerasan pada umumnya merupakan fungsi dari kekuatan ikatan aluminium dan material keramik.^[3] Dari hasil uji kekerasan memperlihatkan kekerasan semakin meningkat dengan semakin meningkatnya putaran pengadukan dan bertambahnya persentase magnesium. Hal ini disebabkan karena dengan meningkatnya kecepatan putaran distribusi partikel yang terdistribusi pada matrik semakin merata, dan bertambahnya persentase Mg menyebabkan kemampuan pembasahan semakin baik sehingga memungkinkan terbentuknya senyawa baru yang lebih banyak yang mengakibatkan kekerasan yang dihasilkan lebih tinggi. Kekerasan suatu material juga dipengaruhi oleh senyawa (fasa) pembentuk material tersebut. Dari hasil XRD didapatkan senyawa yang terbentuk adalah Al, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ dan MgAl_2O_4 . Senyawa $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai partikel penguat sangat berpengaruh dalam menentukan kekuatan komposit, sedangkan MgAl_2O_4 sebagai *spinel* sangat berpengaruh terutama

pada *interface* antara Al dan α -Al₂O₃, *interface* yang terjadi sangat dipengaruhi oleh sifat pembasahannya. Menurut Sindel Semakin besar pembasahan terjadi semakin kuat ikatan *interface* (antar mukanya).^[12]

Pengujian kekerasan menghasilkan kekerasan yang meningkat dengan semakin tingginya kecepatan putaran dan persentase Mg. Hasil dari penelitian ini, nilai kekerasan optimum 98 BHN diperoleh pada kondisi putaran 1510 rpm dengan persentase Mg 15%wt, dan nilai kekerasan minimum 52 diperoleh pada putaran putaran 520 rpm dengan presentase Mg 5% wt.

Ketahanan Aus

Dari data penelitian yang diperoleh maka nilai keausan dari masing-masing kondisi dapat dilihat pada gambar 3



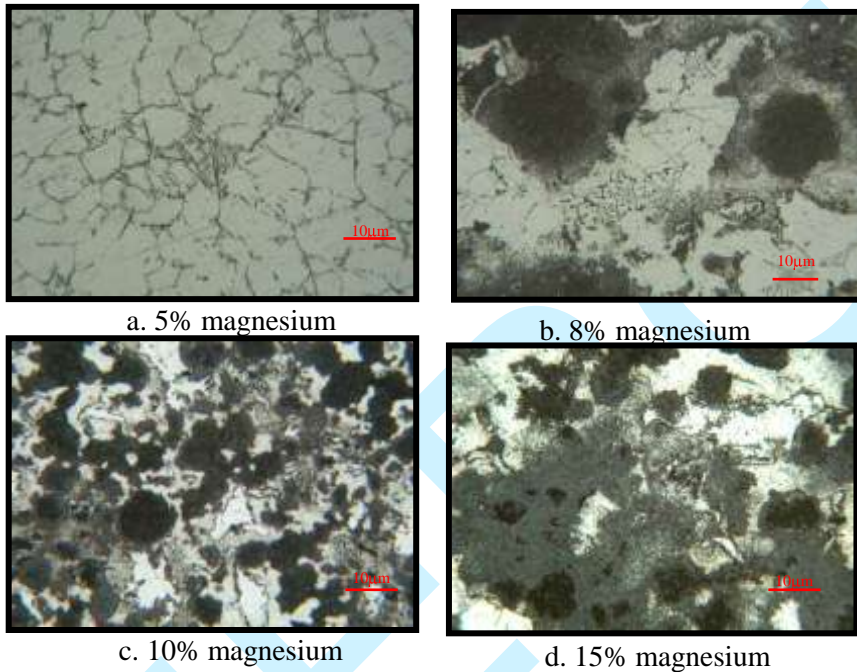
Gambar 3. Grafik Pengaruh Persentase Mg pada Variasi Kecepatan Pengadukan terhadap Keausan

Yang mempengaruhi keausan adalah kekerasan permukaan, kekerasan yang tinggi akan menurunkan keausan.^[13] Laju keausan dari Komposit Matrik Logam menurun dengan semakin lamanya kecepatan pengadukan dan penambahan persentase Mg. Dari Gambar grafik 3 terlihat keausan terendah $3,59 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ pada kondisi penambahan persentase magnesium 10% dan kecepatan putaran 1510 dan keausan tertinggi $7,28 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ pada putaran 520 persentase magnesium 5%. Ketahanan aus dari sampel disebabkan karena dari hasil pengamatan terdapat fasa-fasa dan senyawa baru yang terbentuk, fasa-fasa dan senyawa tersebut dihasilkan dari hasil leburan sebagaimana dijelaskan pada pembahasan kekerasan. Akibat multifasa tersebut ketahanan aus akan semakin menurun pada sampel uji.

Struktur Mikro, SEM, EDX dan Uji Komposisi Kimia

Dari gambar struktur mikro peleburan Aluminium dan alumina dengan variasi penambahan magnesium dan kecepatan putaran pengadukan, maka dapat dilihat bahwa terjadi perubahan struktur mikro pada material untuk masing-masing kondisi

seperti pada Gambar 4 dan 5, adanya perubahan unsur dari material dapat juga dilihat pada Tabel 4 s/d 6.



Gambar 4. Foto Struktur Mikro Pembesaran 200x Kecepatan Pengadukan 520 rpm a. 5% Mg b. 8% Mg c. 10% Mg dan d. 15% Mg

Tabel 4. Hasil uji Komposisi Sampel Kecepatan Pengadukan 520 rpm 2% Mg

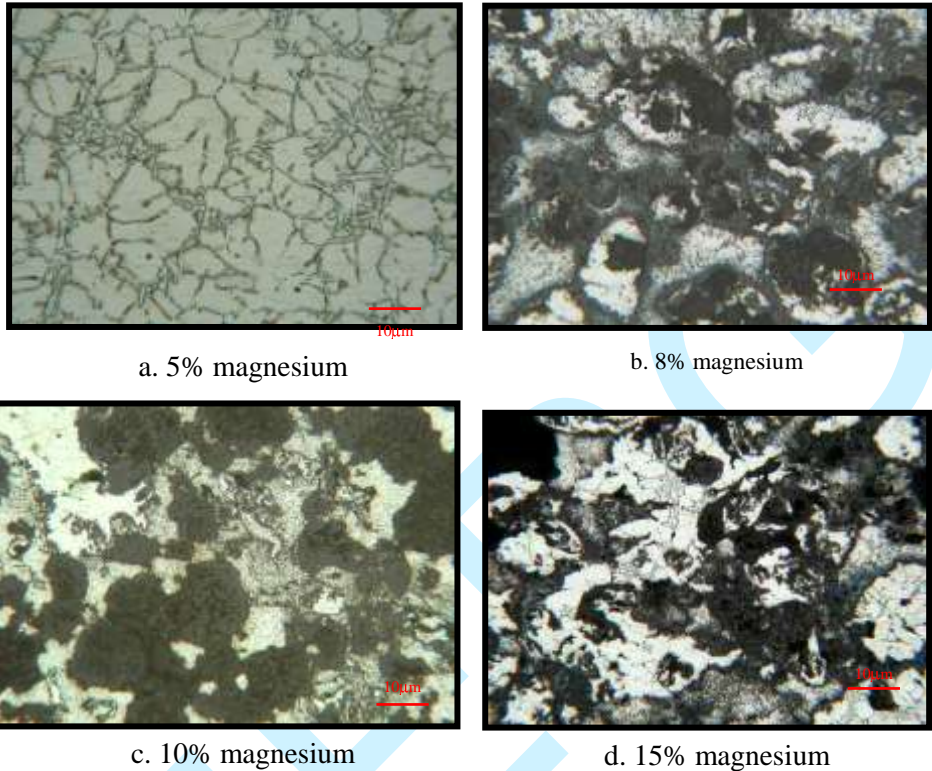
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
2,4057	0,2627	0,4358	0,03257	0,0276	1,1873	0,02033	0,01162	0,0305	0,0152	0,0088	95,562

Tabel 5. Hasil uji Komposisi Sampel Kecepatan Pengadukan 520 rpm 5% Mg

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
1,27325	0,64206	0,50628	0,06973	4,26772	0,39681	0,04759	0,25483	0,09715	0,04618	0,01381	92,38391

Tabel 6. Hasil uji Komposisi Sampel Kecepatan Pengadukan 520 rpm 10% Mg

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
0,43221	0,54569	0,05849	0,04865	8,89894	0,09752	0,01287	0,61691	0,07794	0,08858	0,03972	88,98900



Gambar 5. Foto Struktur mikro pembesaran 200x kecepatan pengadukan 1510 rpm a. 5% Mg b. 8% Mg c. 10%Mg dan d. 15% Mg

Tabel 7. Hasil uji komposisi sampel kecepatan pengadukan 1510 rpm 8% Mg

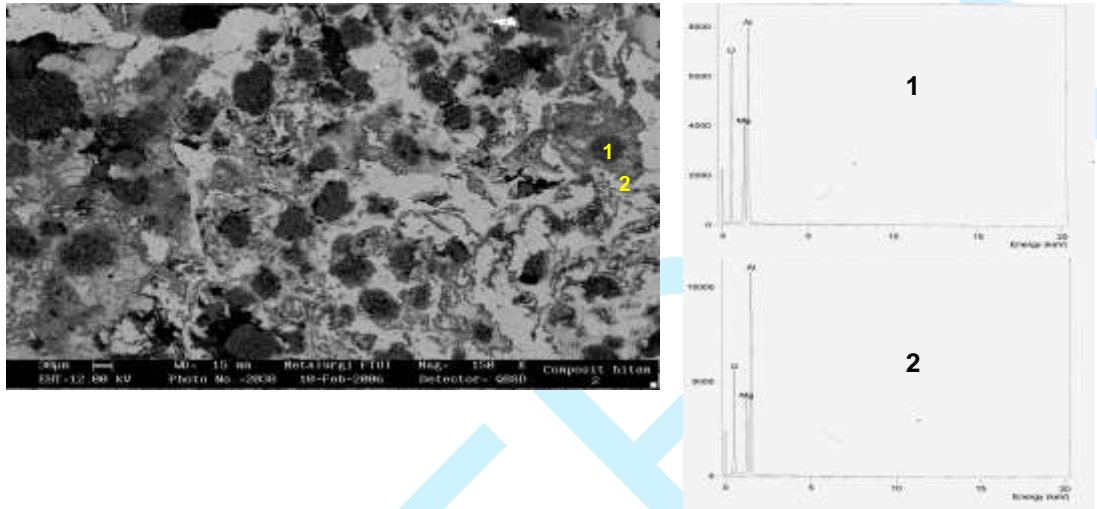
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
1,273210	0,822090	0,506290	0,063756	0,067840	0,396720	0,042590	0,755810	0,097140	0,046180	0,013828	89,8939

Tabel 8. Hasil uji komposisi sampel kecepatan pengadukan 1510 rpm 15% Mg

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr	Ni	Pb	Sn	Al
0,9901	0,6897	0,2157	0,10129	13,3075	0,05135	0,04379	0,40464	0,0094	0,0765	0,0176	84,0838

Untuk mengetahui unsur yang terbentuk pada Gambar 4.c selanjutnya dilakukan pengamatan SEM dan EDX Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya nilai magnesium dan putaran maka diperoleh unsur pembentuk paduan *interface* Al, Mg dan O. *Clarck* menyebutkan penambahan Mg untuk memperbaiki sifat pembasahan biasanya membentuk $MgAl_2O_4$ (*spinel*) pada *interface* sebagai reaksi prabentuk komposit.^[14] Fenomena dari adanya unsur Al, Mg dan O bisa dipastikan

keberadaannya dengan melihat beberapa fasa dari struktur mikro yang berwarna abu-abu dan abu-abu spot yang terbentuk dengan kuantitas yang berbeda-beda. Adapun penyebaran partikel Al_2O_3 diprediksi pada daerah abu-abu sebagaimana hasil pengamatan SEM dan EDX dibawah ini:

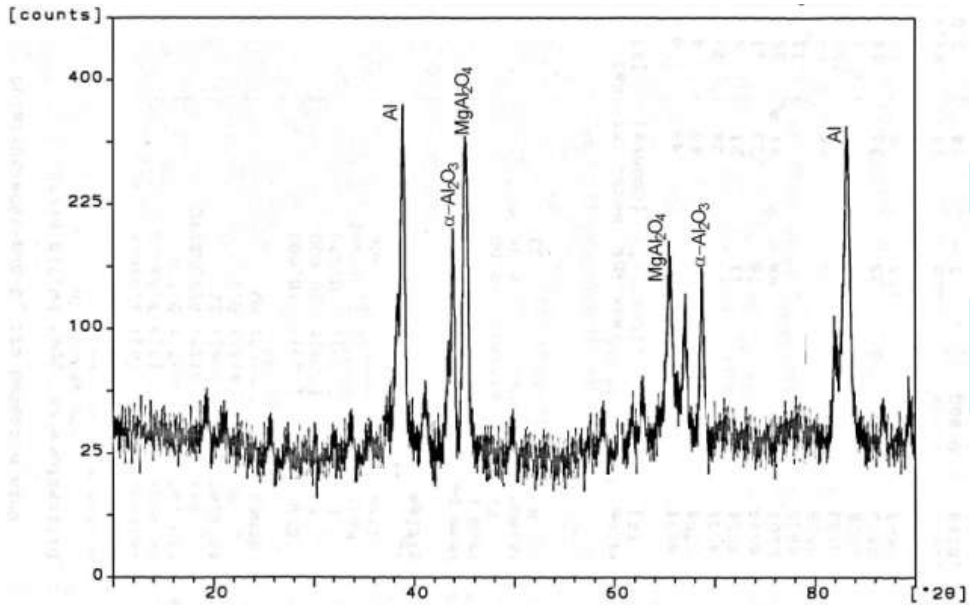


Gambar 6 Hasil SEM dan EDX Produk Leburan Al + Al_2O_3 pada Kecepatan Putaran 520 Rpm Penambahan Persentase Mg 10%

Gambar 17 memperlihatkan pengujian EDX yang berhasil mendeteksi keberadaan unsur Mg, Al dan O pada produk hasil leburan. Berdasarkan hal tersebut material leburan dengan penambahan partikel Al_2O_3 dan magnesium 10% serta kecepatan pengadukan 520 rpm menyebabkan terbentuknya fasa baru *spinel* AlMg_2O_4 sebagaimana uji XRD, yang berpengaruh terhadap sifat mekanik dari material (sebagaimana hasil uji kekerasan dan ketahanan aus).

3.4 Analisa XRD

Pada Gambar 7 dapat dilihat pada penambahan magnesium 10% dengan kecepatan pengadukan 520 rpm terbentuk fasa baru yang terdiri dari senyawa MgAl_2O_4 (*spinel*), senyawa *spinel* merupakan fasa *interface* antara Aluminium sebagai matrik dan Alumina sebagai penguat dari suatu material komposit. Hal ini menurut Horng disebabkan Mg mendorong terjadinya pembasahan dengan cara membentuk *spinel*.^[15] Adanya α Al_2O_3 pada Gambar 7 menunjukkan adanya partikel penguat Al_2O_3 yang terdispersi kedalam leburan Al / Al_2O_3 meskipun acak (*random*) kedalam KML hasil *stir casting*.



Gambar 7. Puncak-puncak dari Mikrograf Hasil XRD Sampel S5M10

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian KML pengaruh kecepatan pengadukan dan penambahan persentase Mg pada peleburan Al-Al₂O₃ dengan proses *stir casting*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kekerasan leburan (Al/Al₂O₃) meningkat dengan bertambahnya kecepatan pengadukan dan persentase magnesium. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada kondisi kecepatan pengadukan 1510 rpm dan persentase magnesium 15%, yaitu sebesar 98 HBN.
2. Laju keausan leburan (Al/Al₂O₃) menurun dengan bertambahnya kecepatan pengadukan dan penambahan persen magnesium. Laju keausan terendah dicapai pada kondisi kecepatan pengadukan 1510 rpm dan penambahan magnesium 10 %, yaitu sebesar 3,5940E-05 mm³/mm.
3. Dari hasil pengamatan yang dilakukan dengan analisa *X-ray diffraction*, ditemukan adanya senyawa *spinel* MgAl₂O₄ pada antar muka matrik-partikel, yang terbentuk dari hasil reaksi produk *wetting* dari Al - Al₂O₃ dengan Mg sebagai *dopant*.
4. Adanya α Al₂O₃ yang berhasil dideteksi pada pengamatan *X-ray diffraction*, menunjukkan adanya partikel penguat yang terdispersi kedalam komposit, tetapi tidak terdistribusi secara merata (random) dalam coran yang dihasilkan.

V. DAFTAR PUSTAKA

- A.J. Hartono. 1992. "*Komposit Metal*". Yogyakarta: Andi Offset.
- Bintang Adjiantoro, Yuswono. 1998. "*Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium Terhadap Ketahanan Aus dan Kekerasan Komposit Paduan Al-7, 14% Si dengan Penguat SiC*". Jakarta: Buletin IPT No.4 VOL. IV.
- Bintang Adjiantoro. 1998. "*Pengaruh Kecepatan dan Waktu Pengadukan terhadap Fraksi Volume Endapan Partikel SiC sebagai Fungsi Ketahanan Abrasif Komposit Paduan Al-7, 14% Si dengan Penguat SiC*". Jakarta: Buletin Metalurgi LIPI, No.2 VOL. 13.
- Candice burril. 2004. "Whisker Reinforced Metal Matrix Composite". <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0405/fig2a.gif> MAE/MSE, 589G.
- D.G. Clarck, J.A. Little & T.W. Clyne. 1993 "Ceramic/metal wetting in spontaneous infiltration process for fabrication of metal matrix Composites". USA: The minerals, metals & Material Society.
- Hong, Ching-Fu, Sue-Jie Lin dan Kuo-Shung Liu. 1992. "Foramtion of MgAl₂O₄ in Al₂O₃ (Al-4wt.%Mg) Composite". USA: Material Science and Enggenging A150.
- Oh, S.Y., J.A. Cornie dan K.C. Russel. 1989. "Wetting of ceramic particulate with liquid Aluminium Alloys: Part II. Study of wettability", USA: Metallurgical Transaction Vol. 20A, Hal 533-541.
- R.E. Smallman & R.J. Bishop, 1995. "Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material", Bandung: edisi terj. Erlangga.
- Rigney A. D. Material hand Book Volume I. 1987. "Wear resistant", Ohio USA: ASM International.
- Riken Oghosi's. 1990. "Universal Wear testing Machine". Type OAT-U.
- S. Gowri, F.H. Samuel, 1993. "Effect Mg on the solidification behavior of two Al-Si-Cu, Fe,Mg(380) diecasting Alloys". USA: Transaction of the American Foundry Society, volume 101.

177 Arman, *Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Penambahan Persentase Magnesium terhadap Kekerasan dan Laju Aus Komposit Matrik Logam dengan Metode Stir Casting*

Sindel, Manfred, Nahum, A. Travitzky dan Nilz Claussen. 1990. "Influence of Magnesium – Alumina Spinel on the Directed Metal Oxidation of Molten Metal Alloys". USA: *Journal of The American Society* Vol 73 No. 9.

S. Ray. 1996. "Casting of Composite Components", India: Departement of Material Engineering University of Roorkee.

Sutopo. 2000 "Buku Petunjuk SEM & XRD ". Depok: Departemen Metalurgi dan Material UI.

Travis L. Blalock. 2004. "*Particle Reinforced Metal Matrix Composite*". USA: *Journal Advance materials of North Carolina state university*, Volume MAE 589 G *Mechanical Enggineering*.