

## Efek Fraksi Volume $Al_2O_3$ terhadap Kualitas Komposit Isotropik Al/ $Al_2O_3$ dengan Metode Metalurgi Serbuk

Widyastuti<sup>1,2</sup>, Eny A<sup>1</sup>, Sadino<sup>1</sup>, Dedi P<sup>2</sup>, Anne Z<sup>2</sup>, Johny W.S<sup>2</sup>, Eddy S.Siradj<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Material Inovatif Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya

<sup>2</sup>Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Email: wiwid\_material@yahoo.com

### Abstrak

Komposit matrik aluminium dan penguat keramik termasuk jenis Metal Matrix Composites (MMCs) yang banyak dikembangkan sebagai komponen otomotif. Dalam penelitian ini digunakan matrik aluminium dan penguat serbuk alumina ( $Al_2O_3$ ) dengan fraksi volume penguat 10%, 20%, 30% dan 40%. Pelapisan serbuk  $Al_2O_3$  dengan Al+Mg dilakukan dengan menggunakan metode electroless plating. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa pada komposit dengan penguat yang dilapisi Al+Mg memiliki kualitas ikatan antar muka yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa pelapis. Berdasarkan hasil pengujian kompresi, Modulus elastisitas tertinggi pada komposit Al/ $Al_2O_3$  terlapis Mg $Al_2O_3$ , diperoleh pada fraksi volume 40 % yaitu sebesar 259,9 GPa. Sedangkan modulus elastisitas komposit tanpa pelapisan pada fraksi volume 40% sebesar 178,8 GPa, atau kenaikan sekitar 45%.

**Kata kunci:** Metalurgi serbuk, Al/ $Al_2O_3$ , fraksi volume, modulus elastisitas, fasa spinel dan electroless plating

### Abstract

Aluminum matrix composite which was reinforced by ceramic is one of MMCs which is developed as automotive part. This current research use aluminum as matrix and alumina ( $Al_2O_3$ ) powder as reinforced with volume fraction of 10%, 20%, 30%, 40%. With-Almg coated by electroless. The result show that composite with Al+Mg coating owned better interfacial bonding than composite without coating. The highest elasticity moduli of Al/ $Al_2O_3$  is forward at volume fraction of 40% is 259,9 GPa. However elasticity modulus of composite without coating treatment with volume fraction 40% is 178,8 GPa, or increased about 45%.

**Keywords:** Powder metallurgy, Al/ $Al_2O_3$ , volume fraction, elastic moduli, spinel phase and electroless plating

### 1. Pendahuluan

Industri otomotif setiap tahun mengalami pertumbuhan yang sangat cepat, yang melanda hampir di semua negara di dunia [1],[3]. Perkembangan tersebut secara linier diikuti juga dengan perkembangan industri komponen otomotif, yang sebagian besar materialnya dari bahan berbasis logam. Proses pembuatan komponen otomotif dewasa ini sebagian besar menggunakan metode *mechanical forming*

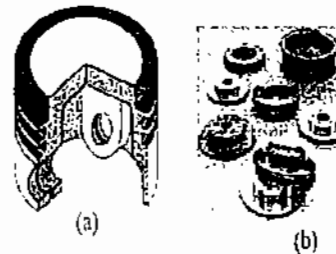
(secara mekanik) dan *casting* (peleburan), dimana kedua proses tersebut membutuhkan energi yang besar dan menimbulkan pencemaran lingkungan. Proses pembuatan produk komponen mesin dalam lingkungan temperatur rendah, dan tanpa proses pengerjaan akhir merupakan kebutuhan dasar untuk meningkatkan daya saing dalam mengatasi permasalahan isu global dewasa ini. Material komposit isotropik dengan basis matrik metal aluminium dan penguat keramik  $Al_2O_3$ ,

merupakan alternatif solusi dalam mengatasi permasalahan material yang digunakan dalam industri komponen otomotif [2],[3]. Aluminium dan paduan merupakan logam yang banyak digunakan, dan masih perlu ditingkatkan kekuatannya untuk keperluan teknik, sehingga diperlukan suatu bahan alternatif untuk memperkuat aluminium dengan cara dibuat sebagai bahan komposit. Alumina( $Al_2O_3$ ) merupakan salah satu penguat berbasis serbuk. Komposit yang dibentuk dari material logam dengan penguat material keramik disebut dengan *metal matrix composites (MMCs)*. Metalurgi serbuk memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode casting antara lain kontrol kualitas yang baik, presisi tinggi, dan memiliki nilai jual yang tinggi. Namun, metode ini memerlukan biaya yang tinggi dan produksi terbatas untuk produk yang berukuran kecil. Pada penelitian ini digunakan bahan serbuk pro-analisis Al dan  $Al_2O_3$  sebagai elemen komposit isotropik dengan variabel fraksi volume 10%, 20%, 30%, 40%. Partikel serbuk  $Al_2O_3$  yang digunakan sebagai penguat diberi perlakuan pelapisan dengan bahan spinel  $MgAl_2O_4$  yang dibentuk dari hasil oksidasi ion Al dan Mg dengan metode *electroless plating*. Hasil *coating* oksida diharapkan dapat meningkatkan kompaktibilitas bahan paduan serbuk tersebut. Variabel digunakan untuk menentukan fraksi volume penguat yang tepat guna peningkatan kompaktibilitas bahan komposit baik yang terlapis maupun tidak. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variabel fraksi volume penguat  $Al_2O_3$  terhadap sifat mekanik komposit berbasis serbuk,.

## 2. Landasan Teori

Aluminium Matrix Composites(AMCs) dapat didefinisikan sebagai campuran yang terdiri dari dua material atau lebih yang berbeda sifat kimianya (salah satunya aluminium), sehingga menghasilkan sifat yang berbeda dan lebih baik dari konstituen

pembentuknya. Aluminium matrix composites dapat digunakan dalam berbagai bidang aplikasi. Gambar 1 menunjukkan aplikasi AMCs pada otomotif yaitu piston-ring dengan fiber serat pendek Saffil yang diproduksi dengan squeeze casting [4]. Automotive braking system dengan penguat partikulat oleh Duracan.



Gambar 1.  
Aplikasi AMCs (a) Piston ring (b) Otomotif Braking Systems[1]

### 2.1. Komposit Isotropik

Komposit dengan penguat partikulat merupakan teknologi rekayasa material yang sangat kompleks pengkajiannya dan luas penerapannya. Bahan komposit yang orientasi penguatannya pada segala arah sama disebut isotropik. Rekayasa sifat mekanik pada bahan komposit biasanya digunakan variabel fraksi penguat,  $v_c$  sebagai volume komposit yang diperoleh dari jumlahan volume fiber ( $v_f$ ) dan volume matrik ( $v_m$ ). Untuk  $w_c$ ,  $w_f$  dan  $w_m$  merupakan berat komposit, fiber dan matrik. Fraksi volume dan berat dilambangkan dengan V dan W.

Fraksi volume dan fraksi berat dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$V_f = \frac{v_f}{v_c}, \quad V_m = \frac{v_m}{v_c} \quad (1)$$

dimana,  $v_c = v_f + v_m$

$$W_f = \frac{w_f}{w_c}, \quad W_m = \frac{w_m}{w_c} \quad (2)$$

dimana,  $w_c = w_f + w_m$ . Dengan mengetahui nilai fraksi berat dan volume akan diperoleh densitas dari komposit  $\rho_c$ . Dan densitas dari komposit bisa dikorelasikan dengan masing-masing densitas fiber ( $\rho_f$ ) dan densitas matrik ( $\rho_m$ ), seperti terlihat pada persamaan berikut ini :

$$\rho_c v_c = \rho_f v_f + \rho_m v_m \quad (3)$$

## 2.2. Modulus Elastisitas

Material pembentuk komposit dipengaruhi oleh sifat-sifat pembentuknya. Nilai modulus elastisitas didapatkan dengan dua model yaitu model Voigt dengan konsep Rule Of Mixture (ROM) yang dinyatakan :

$$E_c = E_p V_p + E_m V_m \quad (4)$$

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_c} + \frac{V_m}{E_m} \quad (5)$$

Model yang kedua yaitu model Reuss dengan konsep Inverse Mixture Rule (IMR) dinyatakan :

$$E_c = \left( \frac{\Phi_p}{E_p} + \frac{1-\Phi_p}{E_m} \right)^{-1} \quad (6)$$

Dimana:

$E_c$  = modulus elastisitas komposit

$E_p$  = modulus elastisitas penguat

$E_m$  = modulus elastisitas matriks

$\Phi_p = V_p$  = fraksi volume penguat

$V_m$  = fraksi volume matriks

Model Voigt hanya diterapkan pada komposit dengan penguat fiber dengan tegangan searah dengan penguatnya (longitudinal stress). Sedangkan model Reuss pada komposit dengan penguat fiber dengan tegangan tegak lurus terhadap penguatnya (transvers stress). Untuk kasus komposit partikulat dapat digunakan konsep Tsai Halpin. Dengan mempertimbangkan faktor bentuk, dimana

struktur material komposit sebagai fungsi arah beban. [Evans,2000]

$$E_c = \frac{E_m(1 + 2SqV_f)}{1 - qV_f} \quad (7)$$

$$q = \frac{(E_f/E_m)^{-1}}{(E_f/E_m) + 2S}$$

Dimana S merupakan faktor geometri partikel untuk penguat partikulat nilai S = 1.

## 2.4. Metalurgi Serbuk

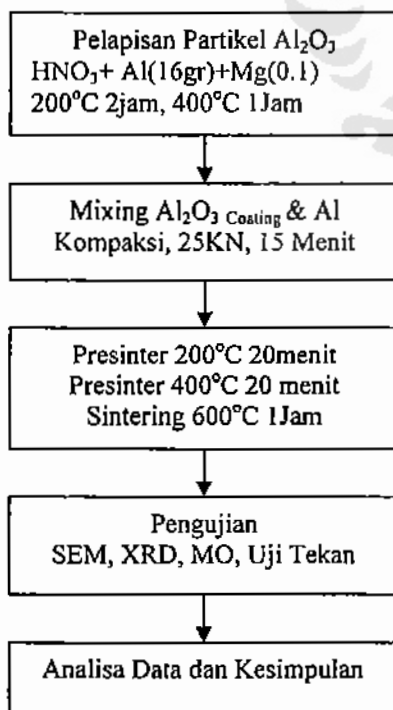
Metalurgi serbuk merupakan proses pembentukan benda kerja komersial dari logam. Prinsipnya adalah memadatkan serbuk logam menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian dipanaskan di bawah temperatur leleh serbuk. Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transportasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Tahapan dari proses metalurgi serbuk meliputi penyusunan, penekanan, pemanasan dan pengujian. Pemanasan ini dikenal sebagai sintering yang menghasilkan ikatan partikel yang halus, sehingga kekuatan dan sifat-sifat fisisnya meningkat. Tahapan proses metalurgi serbuk meliputi identifikasi serbuk, pencampuran, kompaksi dan sintering

## 3. Bahan dan Metodologi

Matriks berupa serbuk logam aluminium murni yang kadar kemurniannya >90% dan ukuran partikelnya 220 mesh, modulus Elastisitas rata-rata (GPa) 70. Reinforcement /penguat menggunakan serbuk alumina dengan modulus Elastisitas rata-rata (GPa) 350. Bahan pendukung adalah Alkohol 96% sebagai bahan pencampur pada saat wet mixing dan serbuk Zinc Stearat sebagai bahan pelumas untuk mengurangi gesekan antara serbuk dengan dinding cetakan. Pada penelitian ini

juga digunakan peralatan – peralatan untuk pembuatan spesimen uji, yaitu timbangan digital, magnetik stirrer, Mesin kompaksi CARVER, furnace dengan vakum  $10^{-3}$  Torr dan pengujian dilakukan dengan XRD, SEM-EDXA, Mesin uji tekan (*compression test*).

Langkah awal yang dilakukan adalah proses pelapisan partikel  $Al_2O_3$  dengan menggunakan oksida logam. Sebanyak 0,5 gr aluminium dan 0.1 gr Mg dilarutkan kedalam 40 ml  $HNO_3$  dan diaduk dengan menggunakan magnetic stirrer. Selanjutnya  $Al_2O_3$  ini dipanaskan selama 2 jam dengan suhu  $200^\circ C$  dan  $400^\circ C$  selama satu jam. Partikel  $Al_2O_3$  coating inilah yang digunakan sebagai penguat komposit Al/ $Al_2O_3$ . Tahap selanjutnya adalah preparasi sample. Pada tahap ini dilakukan penimbangan serbuk Al/ $Al_2O_3$  sesuai dengan fraksi volume masing masing. Sampel dibuat berbentuk silinder dengan diameter 14 mm dan tinggi 14 mm. Tahapan penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 3.  
Diagram Alir Percobaan

Tabel 1.  
Massa Serbuk Berdasarkan Fraksi Volume  $Al_2O_3$

$V_p$ (%)	$V_m$ (%)	$m_p$ (gr)	$m_m$ (gr)
10	90	0.84	5.23
20	80	1.68	4.65
30	70	2.52	4.07
40	60	3.36	3.48

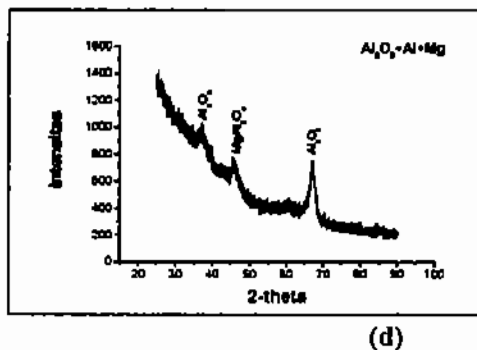
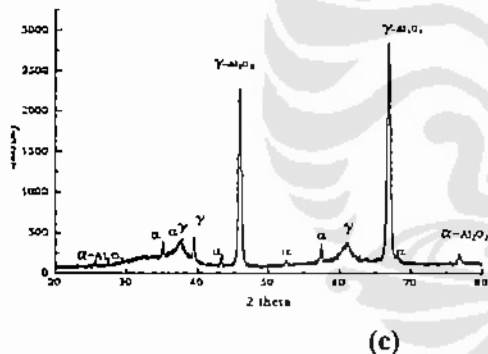
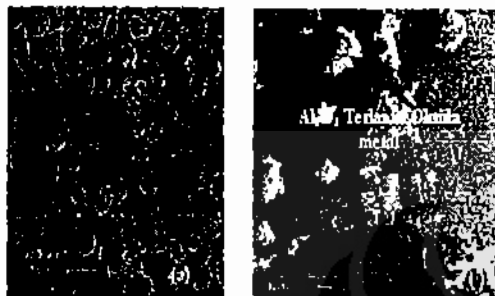
Selanjutnya dilakukan proses kompaksi dengan gaya tekan 25 KN. Setelah terbentuk sample yang padat berbentuk silinder dengan diameter 14 mm maka proses selanjutnya adalah proses sintering. Proses ini dilakukan di dapur yang didalamnya diberi vacuum chamber dalam kondisi  $10^{-3}$  Tor. Temperatur pre sintering pada  $200^\circ C$  dan  $400^\circ C$  dengan waktu penahanan 20 menit dalam keadaan vakum. Temperatur pemanasan yang diberikan pada proses ini adalah  $600^\circ C$  selama 1 jam. Lalu spesimen diukur dimensinya sehingga didapatkan sinter density.

#### 4. Hasil Perhitungan dan Analisa Hasil Pengujian

##### 4.1. Pelapisan Partikel Penguat $Al_2O_3$ dengan Al-Mg

Rendahnya ikatan permukaan antara matrik logam dan penguat keramik adalah permasalahan yang umumnya terjadi pada komposit logam dengan penguat keramik ataupun sebaliknya. Berbagai rekayasa dilakukan untuk meningkatkan wettability antara keduanya. Pada pembuatan komposit Al/ $Al_2O_3$ , partikel  $Al_2O_3$  terlebih dahulu diberi perlakuan rekayasa permukaan dengan bahan pelapis Al+Mg melalui elektroless plating. Proses pelapisan yang dilakukan pada temperatur kamar diharapkan membentuk fasa transisi metastabil, yang tidak dapat terbentuk dengan metode lain. Pada umumnya metode yang dipilih melibatkan temperatur tinggi sehingga tidak ekonomis dalam tataran fabrikasi. Alasan pemilihan unsur

Al dan Mg sebagai bahan pelapis material penguat adalah diharapkan terbentuknya fasa transisi khususnya spinel. Pada penelitian ini proses pembuatan komposit AMCs dilakukan dalam proses cair, penambahan Mg minimum sebesar 0,01 gram dapat membantu pembentukan fasa transisi spinel yang berpengaruh terhadap peningkatan kualitas ikatan antarmuka partikel [2].



Gambar 4.

- (a) Partikel  $Al_2O_3$  tanpa Coating,
- (b) Partikel  $Al_2O_3$  Coating,
- (c) Analisa XRD  $Al_2O_3$  tanpa Coating
- (d) Analisa XRD  $Al_2O_3$  dengan Coating

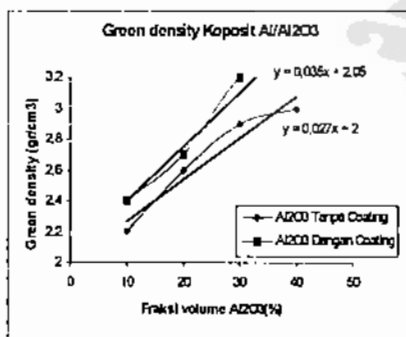
Gambar 4(a) dan (b) menunjukkan perbedaan partikel  $Al_2O_3$  tanpa pelapisan Al+Mg dan terlapsi. Dari pengamatan SEM tersebut terlihat bahwa partikel Alumina yang terlapsi berwarna keputih-putihan. Lapisan warna putih yang terjadi merupakan fasa metastabil yang terbentuk sepanjang proses rekayasa. Fasa metastabil yang terbentuk pada alumina adalah fasa spinel ( $MgAl_2O_4$ ). Jenis fasa yang terbentuk dapat dibuktikan dengan. pengujian XRD sebagaimana dinyatakan pada Gambar 4. Fasa yang terbentuk menyebabkan permukaan partikel alumina cenderung kasar. Pada Gambar 4, analisa XRD menyatakan bahwa partikel alumina yang terlapsi terlihat bahwa puncak-puncak fasa baru terjadi. Hal ini semakin memperkuat bahwa dengan penambahan Mg 0,01 gram dan Al 0,5 gram pada temperatur  $600^\circ C$  membentuk fasa spinel ( $MgAl_2O_4$ ).

Fasa  $MgAl_2O_4$  yang berhasil dilapiskan pada permukaan penguat  $Al_2O_3$  menjadi pengikat perantara antara penguat  $Al_2O_3$  dengan matrik Al di daerah antar muka (interfacial). Hal ini disebabkan oleh bentuk struktur kristal  $MgAl_2O_4$  yang berupa *cubic close packed* mempunyai kesamaan di dalam orientasi bidang kristalnya dengan struktur kristal matrik Al yaitu FCC (face centered cubic). Pengikatan ini akan mudah jika struktur kristal kedua bahan sama, karena membutuhkan energi yang rendah pada beberapa orientasi arah kristalnya [6]. Pengikatan ini secara umum dapat meningkatkan sifat mekanik bahan komposit yang dihasilkan, karena ikatan yang terbentuk adalah ikatan kimiawi berupa ikatan ionik atau kovalen. Dengan adanya fasa spinel yang terbentuk tingkat kebasahan (*wettability*) antara partikel alumina dan aluminium akan meningkat. Hal ini terjadi karena karena spinel yang merupakan fasa metastabil akan melapisi  $Al_2O_3$  yang bersifat inert sehingga ikatan antar partikel logam dan keramik pada bahan komposit akan semakin baik. Dengan

demikian kompaktibilitas komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga akan meningkat [7],[8].

4. 2. Efek Fraksi Volume Penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap Densitas Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

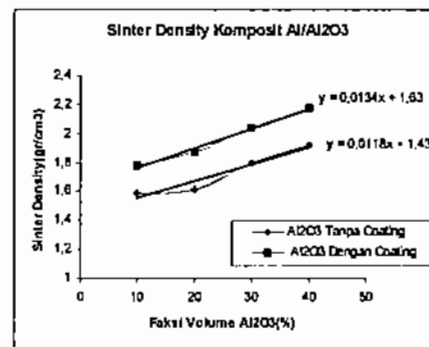
Ikatan antar partikel ada tiga macam. Ikatan akibat kekasaran permukaan (Interlocking), ikatan akibat perbedaan muatan(elektrostatik) dan ikatan akibat kepolaran(Van der Waals). Ikatan pada bakalan yang terbentuk setelah proses kompaksi (*green density*) disebabkan oleh ikatan interlocking atau akibat adanya kohesivitas (adhesi-kohesi) antara partikel matrik dan penguat. Adapun yang mempengaruhi ikatan kohesivitas tersebut adalah penguncian (*interlocking*) antar permukaan yang berbeda kekasarannya, gaya elektrostatis dan gaya Van der Waals. Dengan demikian semakin besar fraksi volume penguat yang digunakan maka kekuatan densitas pasca kompaksi (*green strength*) semakin besar sehingga densitas setelah kompaksi makin meningkat. Pengaruh fraksi volume terhadap green density untuk komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat dinyatakan pada



**Gambar 5.** Pengaruh Fraksi Volume terhadap Green Density Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Gambar 5 diperoleh bahwa dengan penambahan fraksi volume penguat akan meningkatkan densitas pasca kompaksi (*green density*). Pada saat massa komposit dimasukkan dalam cetakan kemudian ditekan akan menimbulkan pergerakan partikel ke bawah dies, sebagaimana

dinyatakan dalam hukum Newton I. Setiap ada massa yang dikenai gaya maka massa itu akan bergerak searah dengan gaya yang diberikan dengan percepatan tertentu. Dengan adanya gaya tekan yang diberikan membuat partikel bergerak. Sehingga partikel yang memiliki kekasaran permukaan yang berbeda-beda akan membentuk ikatan yaitu ikatan kohesivitas (*adhesi-kohesi*) akibat penguncian antar permukaan (*interlocking*). Perbedaan muatan ditimbulkan karena adanya gesekan antar partikel. Sehingga terbentuk ikatan elektrostatis. Dengan adanya perbedaan itu pula maka akan timbul perbedaan polaritas (kutub) sehingga terbentuk ikatan karena adanya gaya Van Der Waals. Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan pelapisan Al+Mg memiliki densitas yang sangat tinggi dibandingkan komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tanpa dilapisi. Hal ini dikarenakan terbentuknya fasa spinel yang meningkatkan kebasahan antar muka partikel. Sehingga ikatan antar partikel lebih baik dibandingkan ikatan antar partikel yang tidak terlapisi. Karena kekuatan komposit setelah di kompaksi tidak terlalu baik, maka untuk meningkatkan kekuatan dari komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dilakukan proses sintering. Semakin banyak fraksi volume penguat, maka diharapkan difusi antar atom juga makin banyak sehingga porositas komposit juga akan berkurang. Perbedaan sintered densitas komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan pelapisan dan tanpa pelapisan ditunjukkan Gambar 6.



**Gambar 6.** Pengaruh Fraksi Volume Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> terhadap Sinter Density Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Komposit dengan bahan pelapis  $MgAl_2O_4$  pada penguat  $Al_2O_3$  menghasilkan nilai sintering densitas yang lebih tinggi dibandingkan yang komposit dengan penguat  $Al_2O_3$  yang tidak terlapis. Hal ini disebabkan  $MgAl_2O_4$  (spinel) yang terbentuk pada permukaan  $Al_2O_3$  berperan sebagai *coupling agent* yang memiliki kemampuan sebagai fasa transisi antara matrik dan penguat. Dengan menggunakan mekanisme difusi pada daerah antar muka antara matrik dan penguat maka ikatan antar permukaan penguat dan matrik meningkat sehingga mampu meningkatkan kompaktibilitas komposit Al/ $Al_2O_3$ . Proses difusi antarmuka partikel terjadi sepanjang sintering dalam kondisi vakum. Difusi antarmuka ini memicu terbentuknya jembatan cair (liquid bridge) antarmuka yang secara umum terjadi pada seluruh bagian bakalan serbuk sehingga menurunkan jumlah porositas yang terjadi karena ruang kosong antar partikel terisi *liquid bridge* ini. Secara makroskopik pengaruh keberadaan liquid bridge dapat teramati dari perbedaan densitas sebelum sinter (green density) dan setelah sinter (sinter density). Jembatan cair antarmuka partikel ditunjukkan pada Gambar 7 berikut :

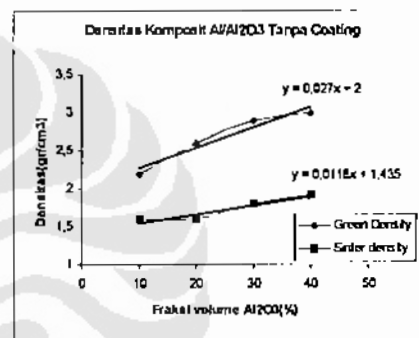


Gambar 7.

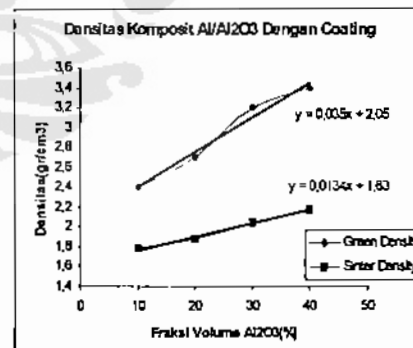
Jembatan Cairan (liquid bridge) Antarmuka Partikel Serbuk Al/ $Al_2O_3$  yang terbentuk akibat Proses Difusi Antarmuka sepanjang Proses Sintering.

Sintering density adalah densitas komposit setelah mengalami proses

sintering dimana nilainya lebih besar dibandingkan dengan green density. Pada Gambar 5, terlihat densitas pasca sintering (*sinter density*) meningkat seiring dengan pertambahan fraksi volume penguat. Pada saat proses sintering, gas-gas dan lubricant yang terjebak diantara partikel-partikel penyusun bahan komposit dapat keluar melalui porositas tersebut dengan mudah, peristiwa ini disebut *degassing*. Dengan adanya proses difusi antar atom yang makin banyak seiring pertambahan fraksi volume maka porositas akan makin berkurang. Sehingga kepadatan komposit setelah sintering makin meningkat.



(a)



(b)

Gambar 8.

Grafik Perbandingan Green Density dan Sinter Density Komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan (a)  $Al_2O_3$  tanpa Coating; (b)  $Al_2O_3$  dengan Coating

Pengaruh coating pada partikel penguat terhadap nilai densitas setelah kompaksi (*green density*) dan setelah sintering (*sinter density*) terjadi perbedaan sekitar 27 % ( $Al_2O_3$  tanpa

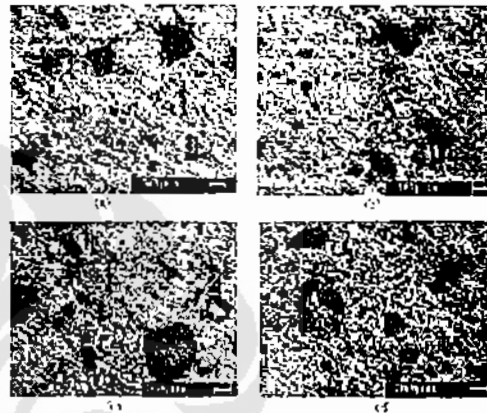
coating) dan 25 % ( $Al_2O_3$  dengan coating). Perbedaan yang lebih kecil antara nilai green density dan sinter density pada komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan menggunakan penguat  $Al_2O_3$  coating, menunjukkan terjadinya kerapatan yang lebih tinggi pada saat proses kompaksi dibandingkan komposit dengan penguat  $Al_2O_3$  yang tidak mengalami coating, sebagaimana ditunjukkan Gambar 8.

#### 4.3. Efek Fraksi Volume Penguat $Al_2O_3$ terhadap Sifat Mekanik Komposit Al/ $Al_2O_3$

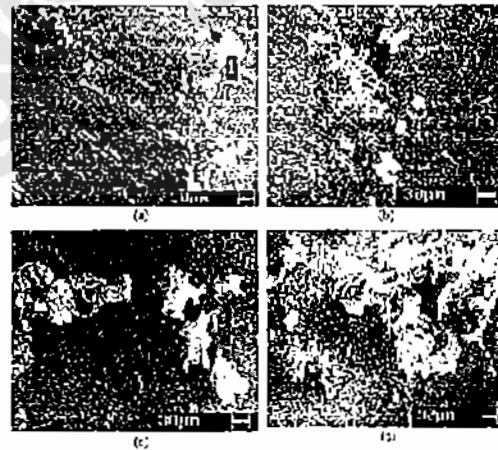
Kualitas ikatan antarmuka matrik dan penguat dan distribusi penguat yang homogen dalam matrik sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik atau modulus elastisitas komposit. Hal ini dikarenakan tegangan akibat gaya luar yang diberikan akan dapat ditransmisikan dengan baik dari matrik terhadap penguat [5]. Semakin homogen distribusi penguat diantara matrik maka tegangan dapat tertransmisi secara merata pada komposit sehingga dapat menghambat proses terjadinya dislokasi. Selain mekanisme dan waktu pencampuran, fraksi volume penguat  $Al_2O_3$  merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap distribusi penguat dalam matrik. Semakin besar fraksi volume penguat  $Al_2O_3$ , maka dibutuhkan mekanisme yang lebih kompleks maupun waktu pengadukan yang lebih lama. Tidak ada hubungan sebanding antara fraksi volume penguat dan diribusinya dalam matrik. Distribusi penguat  $Al_2O_3$  tanpa pelapisan dalam matrik Al dapat terlihat pada Gambar 9. Pada gambar ini terlihat bahwa distribusi  $Al_2O_3$  dalam matrik Al untuk semua fraksi volume (10%, 20%, 30% dan 40%) secara umum terdistribusi merata.

Sebaliknya pada komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan penguat  $Al_2O_3$  tercoating, terjadi pengelompokan (*agglomerasi*) partikel  $Al_2O_3$ . Hal ini menunjukkan bahwa kebasahan antarmuka partikel  $Al_2O_3$  semakin besar dibandingkan sebelum

dicoating akibat adanya pelapisan fasa spinel  $MgAl_2O_4$  pada permukaan penguat. Pada Gambar 10 (a) dan 10 (b) terlihat bahwa distribusi penguat  $Al_2O_3$  di dalam matrik Al masih cukup merata sedangkan pada Gambar 10 (c) untuk Vf  $Al_2O_3$  30% dan (d) Vf 40%. terlihat bahwa komposit cenderung membentuk agregat sehingga distribusi penguat dalam matrik Al tidak merata di beberapa bagian.



Gambar 9. Mikrostruktur Komposit Al/ $Al_2O_3$  tanpa Coating (a)10%.(b) 20%. (c) 30% dan (d) 40%



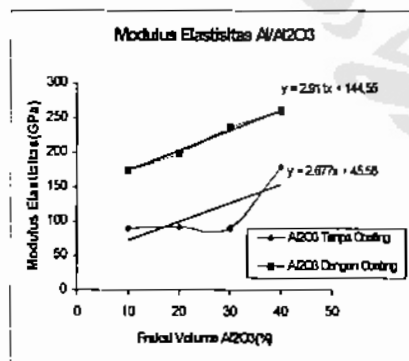
Gambar 10. Mikrostruktur Komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan Coating (a)10 % (b) 20 % (c) 30 % dan (d) 40 %

Ketidakhomogenan distribusi penguat  $Al_2O_3$  dapat diatasi dengan mekanisme pengadukan yang baik dan waktu



pengadukan yang lebih lama karena kehomogenan distribusi penguat  $Al_2O_3$  didalam matrik berpengaruh terhadap kompaktibilitas komposit [8]. Nilai kompaktibilitas komposit Al/ $Al_2O_3$  dinyatakan dengan nilai modulus elastisitasnya, sebagaimana dinyatakan pada Gambar 11.

Gambar 11 terlihat bahwa modulus elastisitas komposit dengan penguat  $Al_2O_3$  coating lebih tinggi daripada modulus elastisitas komposit Al/ $Al_2O_3$  tanpa pelapisan. Hal ini dikarenakan proses difusi anatrmuka partikel matrik dengan penguat  $Al_2O_3$  berlangsung baik, sehingga kompaktibilitas antara matrik dan penguatnya lebih tinggi. Ikatan antar permukaan yang terbentuk menjadi sangat kuat dan menghambat terjadinya penjalaran dislokasi saat dikenai beban dari luar, artinya pada saat diberi beban gaya luar maka bahan mengalami regangan yang kecil. Oleh karena itu nilai modulus elastisitas komposit Al/ $Al_2O_3$  yang terlapis lebih tinggi dibandingkan komposit Al/ $Al_2O_3$  yang tidak terlapis.



Gambar 11.

Grafik Perbandingan antara Komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan Penguat  $Al_2O_3$  tanpa Coating dan dengan Coating

Komposit yang terlapis  $MgAl_2O_4$  pada penguat  $Al_2O_3$  menghasilkan nilai modulus elastisitas yang tinggi. Hal ini disebabkan karena  $MgAl_2O_4$  merupakan fasa metastabil. Metal oksida metastabil dalam

komposit berperan sebagai binder/perekat yang memiliki kemampuan sebagai fasa transisi antara matrik dan penguat. Dengan menggunakan mekanisme difusi pada daerah antar muka antara matrik dan penguat, spinel mampu mengikat antar muka partikel penguat  $Al_2O_3$  dan matrik Al. Dengan adanya difusi tersebut maka ikatan antar permukaan penguat dan matrik meningkat sehingga kompaktibilitas komposit Al/ $Al_2O_3$  lebih tinggi. Pada komposit Al/ $Al_2O_3$  dengan penguat  $Al_2O_3$  terlapis, kenaikan fraksi volume penguat akan meningkatkan nilai modulus elastisitas komposit yang terlihat pada gambar 11. Kenaikan fraksi volume penguat setiap 10 % mengakibatkan kenaikan modulus elastisitas komposit sekitar > 12 %. Hal tersebut tidak terjadi pada komposit dengan penguat  $Al_2O_3$  yang tidak terlapis oksida, yang cenderung bersifat stakan sampai fraksi 30 %, dan terjadi kenaikan pada fraksi volume penguat 40 %. Perbedaan nilai tertinggi modulus elastisitas tanpa dan dengan pelapis oksida pada penguatnya pada fraksi volume 40 % sekitar 31, 2 %.

## 5. Kesimpulan

Sejumlah kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil-hasil yang diperoleh dari penelitian ini, antara lain:

1. Fasa metastabil spinel ( $MgAl_2O_4$ ) terbentuk pada partikel  $Al_2O_3$  yang terlapis dengan oksida logam yang dilakukan dengan proses electroless plating
2. Semakin besar fraksi volume penguat  $Al_2O_3$  makin tinggi green density maupun sinter density komposit Al/ $Al_2O_3$ .
3. Pada fraksi volume penguat  $Al_2O_3$  40%, modulus elastisitas komposit tanpa coating 178,8 Gpa, sedangkan dengan coating 259,9 Gpa.
4. Pada fraksi volume penguat lebih dari 20 %, peningkatan nilai distribusi hanya berkisar 1 %

5. Pelapisan fasa spinel  $MgAl_2O_4$  pada permukaan penguat  $Al_2O_3$  bertindak sebagai pengikat perantara antara penguat  $Al_2O_3$  dengan matrik Al dan membuat distribusi penguat lebih merata diantara matrik aluminium. Hal tersebut secara tidak langsung dapat meningkatkan sifat mekanik bahan komposit yang dihasilkan, khususnya modulus elastisitas bahan.

$Al_2O_3$ ”, Thesis S2, Teknik Mesin FTI ITS, 2007.

- [8] Widyastuti, “Identifikasi bentuk partikel Serbuk Al;  $Al_2O_3$ , SiC”, Penelitian dasar ITS Surabaya, 2002.

#### Daftar Acuan

- [1] Chawla, K. Krishan. “*Composite Material: Science and Engineering*”. London Paris Tokyo: Springer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 1987.
- [2] Deb A.K, Chatterjee and Sen Gupta S.P. 2004. “*An X-ray diffraction study on dislocation microstructure of as-prepared Al- $Al_2O_3$  composites*”, *acta Materialial*, Volume 52, Issue 9, 17 May, 2004, pp. 2755-2764.
- [3] Evans, J. R. G., Fan,Z., Peng. H. X., “*Bi-continous Metal Matrix Composites*”. *Journal Material Science and Engineering*. Elsevier Science A303, 2000, pp. 37-45.
- [4] Froyen,L., Verlinden, B., “*Aluminium Matrix Composites Materials*”. Talat 1402. Belgium. Europea Aluminium Associations (EAA), 1994.
- [5] Gibson, Ronald F. “*Principles of CompositeMaterialMechanics*”. Singapore: McGraw-Hill, 1994.
- [6] Lee, Ho-In., Lee, Jung Lll., Lee, J.C., “*Methodologies to Observed and Characteristic Interfacial Reaction Products in ( $Al_2O_3$ )Al and SiC<sub>p</sub>/Al Composites- Using SEM, XRD, TEM*”. Elsevier Science Ltd. April, 1996, pp.1359-6462.
- [7] Sadino, “*Kekerasan Komposit Aluminium yang diperkuat dengan*