

## Pengaruh Temperatur dan Prosentase Magnesium Terhadap Karakteristik Komposit Matrik Logam Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hasil Infiltrasi Tanpa Tekanan

Anne Zulfia, Masyhuri Rahman dan Solahudin  
Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia, Depok

### Abstrak

*Komposit Matrik Logam (Metal Matrix Composite, MMCs) adalah kombinasi dari dua material atau lebih dengan matrik adalah logam yang dikembangkan untuk memperbaiki sifat logam; kekuatan pada temperatur tinggi, kekerasan, tahanan listrik, kestabilan pada temperatur tinggi. Aluminium sebagai matrik komposit dikembangkan karena ringan, murah, dan mudah difabrikasi. Infiltrasi spontan tanpa tekanan adalah salah satu proses fabrikasi komposit matrik logam dalam kondisi cair yang sedang dikembangkan karena lebih ekonomis, tidak memerlukan peralatan yang rumit. Karakteristik komposit matrik logam dapat dipengaruhi oleh temperatur infiltrasi, kandungan dopant (Magnesium), % V<sub>f</sub> penguat dan waktu tahan saat infiltrasi. Pada penelitian ini, dilakukan pengaruh temperatur infiltrasi, dan kandungan Magnesium saat infiltrasi dari komposit matrik logam dengan Al sebagai matrik, dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebagai penguat terhadap karakterisasi dari komposit tersebut meliputi ekspansi thermal, kekerasan (BHN), metalografi, laju keausan, densitas dan porositas. Temperatur infiltrasi yang digunakan adalah 800°C, 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C dengan volume Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50% dan dengan waktu tahan saat infiltrasi 10 jam, sedangkan kandungan Magnesium yang dipakai adalah 4, 8, 10, 12 % berat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan kandungan Mg semakin banyak Al cair terinfiltrasi ke dalam preform Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dari penelitian ini didapatkan bahwa temperatur 1100°C diperoleh karakterisasi komposit yang optimum*

**Kata kunci :** Komposit Matrik Logam Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Infiltrasi tanpa tekanan, Kandungan Mg dan Temperatur optimum

### Abstract

*Metal Matrix Composite (MMCs) is combination from two material or more with metal as matrix developed to improve the nature of metal; strength, hardness, electric resistance, stability at high temperature. Aluminum as a matrix composite developed because is light, cheap, and easy to fabrication. Pressureless infiltration is one of the fabrication process of metal matrix composite in a melt condition which is developing because more economic, no need complicated equipments. Characteristic of metal matrix composite can be influenced by infiltration temperature, dopant content (Magnesium), % V<sub>f</sub> reinforcement and holding time. This research aim is to study the effect of temperature infiltration, as well as magnesium content on characterization of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> metal matrix composite i.e; thermal expansion, hardness, wear resistance, porosity and density as well as metallography. The infiltration temperature used various from 800 to 1200°C and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle reinforcement was 50%V<sub>f</sub>. The magnesium content was also various from 4% to 12% wt and holding time was 10 hours. The results shows that higher magnesium content produced more Al molten infiltrated into Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> preform. It is found that the optimum performance of composite produced at 1100°C.*

**Key word :** Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Metal Matrix Composites, Pressureless Metal Infiltration, Mg conten and Optimum temperature

### 1. Pendahuluan

Komposit Matrik Logam (*Metal Matrix Composite, MMC*) telah menarik perhatian

akhir-akhir ini, terutama pada proses pembuatannya. Dalam beberapa hal sifat material penguat (*reinforcement*) menjadi sesuatu yang sangat menentukan hasil dari

komposit matrik logam dibandingkan dengan monolith material, tetapi biaya untuk membuat komposit matrik logam masih relative mahal sehingga jarang digunakan secara luas<sup>(1)</sup>. Komposit matrik logam di aplikasikan pada mesin turbin gas, mesin roket, piston mesin, penukar panas, peralatan temperatur tinggi, struktur luar angkasa, paket elektronik<sup>(2)</sup>.

Komposit Matrik Logam dengan aluminium sebagai matrik menjadi objek penelitian pada saat ini, karena sifatnya ringan, murah dan mudah untuk difabrikasi<sup>(1,3)</sup>. Lanxide corporation telah mengembangkan komposit matrik logam dengan dasar Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, AlN, Al<sub>2</sub>TiO<sub>5</sub>, ZrC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> dalam bentuk fiber atau particle<sup>(2)</sup>. Fabrikasi Aluminium dengan penguatan diskontinu telah banyak dikembangkan diantaranya dengan proses infiltrasi tanpa tekanan, dibandingkan dengan proses lain; *solid-state process* (metalurgi serbuk)<sup>(4)</sup>, *liquid-state process* (*compocasting*<sup>(5-7)</sup> dan *pressurized liquid-metal infiltration*<sup>(8)</sup>). Hal ini disebabkan keunggulan infiltrasi tanpa tekanan pada kemudahan fabrikasi dan biayanya lebih murah<sup>(1)</sup>.

Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) relative murah harganya<sup>(9)</sup> dan sebagai partikel penguat akan memperbaiki sifat mekanik; kekuatan tarik, kekuatan tekan, ketangguhan, modulus elastis, ekspansi termal, dan ketahanan ausnya<sup>(10)</sup>. Infiltrasi spontan pada Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur Mg, kenaikan temperatur, ukuran partikel<sup>(1)</sup>. Aluminium yang mengandung Mg akan menginfiltrasi partikel keramik dalam lingkungan yang mengandung nitrogen dan tanpa oksigen<sup>(11)</sup>. Dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh Mg dan temperature pemanasan terhadap karakteristik komposit matrik logam Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, diharapkan penelitian ini akan dihasilkan komposit matrik logam yang mempunyai sifat-sifat yang optimal dan dapat digunakan untuk aplikasinya di industri.

### 1.1. Aluminium

Dari sekian banyak sistem matrik logam yang potensial, komposit matrik aluminium

paduan telah menjadi obyek dari banyak riset karena murah dan mudah difabrikasi<sup>(12)</sup>. Disamping sifat tersebut aluminium memiliki ketahanan korosi yang tinggi, sangat reaktif, sehingga jika bersentuhan dengan udara terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaannya, lapisan oksida ini adalah alumina. Apabila lapisan ini terkelupas maka akan segera terbentuk lapisan baru<sup>(18)</sup>.

Karena sifat-sifat aluminium yang menguntungkan tersebut membuat aluminium banyak digunakan dalam berbagai industri. Sifat - sifat mekanik aluminium dapat ditingkatkan dengan penambahan unsur-unsur paduan, proses perlakuan panas, dan proses pengerjaan dingin<sup>(17)</sup>.

Sifat fisik dan mekanik Aluminium<sup>(17)</sup>; densitas 2.699 gr/cm<sup>3</sup>, titik lebur 660.22 °C, koefisien ekspansi panas 25-100 °C 22 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>, Modulus elastis 65 GPa.

### 1.2. Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dibuat dengan pemanasan alumina *hydrate*, perubahan struktur alumina dapat dilakukan dengan peningkatan temperatur, tetapi semua struktur akan bertransformasi irreversible ke  $\alpha$ -alumina, dgn struktur sistem heksagonal, yang stabil pada temperatur diatas 1200°C.  $\alpha$ -alumina biasa digunakan untuk keperluan aplikasi struktural dan elektrik<sup>(28)</sup>.

Sifat fisik dan mekanik  $\alpha$ -alumina<sup>(28)</sup>, densitas 3.8 gr/cm<sup>3</sup> (kemurnian 97%), modulus elastis 363 GPa, kekuatan tarik pada 25 °C 210 MPa, kekerasan 9.3 R45N, koefisien ekspansi panas 25-1000 °C 8.2 10<sup>-6</sup>/K.

### 1.3. Magnesium

Magnesium sangat potensial untuk aplikasi struktural. Magnesium mempunyai densitas yang lebih rendah dari aluminium dan titanium, dan juga mempunyai kekuatan dan modulus yang tinggi. Magnesium mempunyai struktur heksagonal, yang mempunyai keuletan terbatas, sangat sulit untuk dideformasi

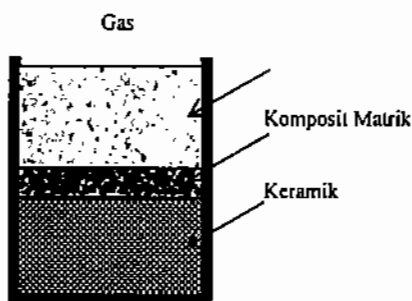
menjadi bentuk tertentu, sehingga perlu temperatur yang tinggi untuk meningkatkan sifat deformasi. Sehingga proses yang sering dipilih adalah pengecoran dalam membentuk produk<sup>(17)</sup>

Magnesium berguna untuk meningkatkan sifat pembasahan dari material keramik, semakin banyak magnesium pada komposit matrik logam semakin dalam infiltrasinya<sup>(1)</sup>.

Sifat fisik Magnesium<sup>(17)</sup>; densitas 1.738 gr/cm<sup>3</sup>, titik lebur 650°C, Magnesium lebih reaktif terhadap O<sub>2</sub> dari pada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sehingga Magnesium dapat mereduksi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi Al.

#### 1.4. Proses Infiltrasi Tanpa Tekanan

Lanxide telah mengembangkan proses infiltrasi tanpa tekanan dengan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atau SiC sebagai serbuk penguat yang mengandung Mg pada aluminium cair yang diletakkan di atasnya Al, paduan dengan keramik ini dipanaskan pada temperature 800-1000°C dengan lingkungan nitrogen, menghasilkan infiltrasi tanpa tekanan pada partikel oleh paduan cair, diikuti oleh pembekuan untuk membentuk komposit matrik logam. Persentase volume dari partikel yang dapat digunakan biasanya lebih tinggi (45-70 % volume) dibandingkan dengan teknik *stir casting*<sup>(14)</sup>.



Gambar.1.  
Proses Infiltrasi Tanpa Tekanan<sup>(1)</sup>

May<sup>(15)</sup> melaporkan bahwa proses infiltrasi tanpa tekanan merupakan proses untuk meningkatkan pembasahan material keramik oleh Aluminium cair. Karena

adanya atmosfer nitrogen, akan terbentuk AlN pada mikrostrukturnya.

Proses Infiltrasi Tanpa Tekanan (*PRIMEX*) merupakan proses pembuatan Komposit Matrik Logam (*MMC*); campuran keramik penguat dengan magnesium diletakkan dibawah cetakan, sedangkan logam diletakkan di atasnya, pada temperatur diatas titik leleh logam, logam akan mencair dan akan mengisi pori dari susunan keramik penguat berdasarkan prinsip gravitasi<sup>(1)</sup>.

Sifat alami keramik yang tidak dapat dibasahi oleh Aluminium cair sehingga menghasilkan sifat antarmuka antara keramik/logam yang jelek dan infiltrasi yang tidak sempurna merupakan masalah utama pada proses *PRIMEX*, sehingga diperlukan campuran supaya terjadi pembasahan<sup>(1)</sup>.

*Aghajanian dkk*<sup>(1)</sup> menemukan bahwa pada proses *PRIMEX* komposit matrik logam Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mulai terjadi infiltrasi pada kandungan magnesium 0.5% berat dan infiltrasi akan berbanding lurus dengan kandungan magnesium. Temperatur infiltrasi mulai terjadi pada temperature 750 °C dan infiltrasi akan meningkat sampai temperatur 900 °C. Infiltrasi berbanding lurus dengan ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel semakin mudah untuk infiltrasi karena semakin luas permukaan untuk mendorong terjadinya reaksi. Partikel diatas 200 µm tidak terjadi infiltrasi. Terbentuknya AlN akan meningkat dengan kenaikan temperature.

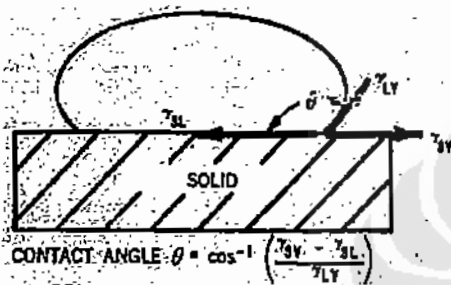
#### 1.5. Kemampuan Pembasahan (*Wettability*)

Perkembangan Aluminium dengan penguat partikel keramik tergantung dari pencapaian ikatan yang kuat dan pembasahan yang terjadi. Untuk mencapai *interface* yang kuat antara matrix logam dan penguat tergantung dari beberapa parameter :

- Pencapaian pembasahan thermodinamik antara matrik logam dan penguat

- Menghasilkan gaya ikatan dari sebagian besar penguat ke logam sehingga menjamin transfer beban ke penguat menjadi sempurna.
- Ikatan yang mempunyai stabilitas yang lama dan kekuatan diatas temperatur yang diharapkan.
- Daerah reaksi antarmuka antara penguat dan matrik harus mempunyai gesekan yang kecil

Koefisien ekspansi panas harus saling menutupi sehingga tidak terjadi pelemahan ikatan akibat perbedaan koefisien ekspansi panas.



Gambar 2. Padat, Cair, dan uap dalam kondisi kesetimbangan<sup>(16)</sup>

Dimana

- $\gamma_{SV}$  = energi permukaan padat-uap
  - $\gamma_{SL}$  = energi permukaan padat-cair
  - $\gamma_{LV}$  = energi permukaan cair-uap
- pembasahan terjadi bila

$$\gamma_{SL} dA + \gamma_{LV} dA < \gamma_{SV} dA \quad (1)$$

Dari hubungan ini, koefisien penyebaran (SC) ditentukan

$$SC = \gamma_{SV} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LV}) \quad (2)$$

$$\gamma_{SV} = \gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos \theta \quad (3)$$

$$\cos \theta = (\gamma_{SV} - \gamma_{SL}) / \gamma_{LV} \quad (4)$$

$\theta$  bisa digunakan sebagai ukuran tingkat pembasahan. Untuk sudut kontak 180°, tetesan berbentuk bola dengan hanya kontak titik dengan padatan dan tidak terjadi pembasahan. kondisi ekstrim lain,  $\theta = 0$  memberikan pembasahan sempurna. Untuk nilai  $\theta$ , yaitu  $0^\circ < \theta < 180^\circ$ , tingkat pembasahan meningkat ketika  $\theta$  mengecil. Seringkali dianggap bahwa cairan tidak membasahi padatan jika  $\theta > 90^\circ$ <sup>(16)</sup>.

### 1.6. Pengaruh Dopan dan Elemen Paduan

Pada umumnya Aluminium tidak membasahi oksidanya, pengaruh dopan dan elemen paduan pada Aluminium dapat menambah, mengurangi atau tidak berpengaruh terhadap pembasahan.

Tabel 1. Pengaruh dopan dan elemen paduan terhadap pembasahan<sup>(16)</sup>

EFFECT ON CONTACT ANGLE	ALLOYING ELEMENT, ATOM %	CATEGORY	APPARENT SHEAR STRESS, 1,000 LB./SQ. IN.		
			CONTACT ANGLE, DEGREES	AS CAST	HEAT TREATED
	Pure Al	—	133±8	5.3	0.0
Decreased	0.23 Cu	I	119±5	5.2	3.5
	0.44 Mg	I, II	116±5	5.2	5.2
	0.18 Zr	II, III	118±5	1.4-4.2	0.7-1.0
	0.44 Mg (a)	I, II	94±5	7.1	7.0
	7016 Alloy (b)	—	116±5	4.9	11.7
Not affected	0.019 Pb	I, IV	129±5	11.6	15.0
	0.28 V	III	129±5	5.7	11.0
	0.58 Mn	I, III	127±5	1.8	14.5
	0.14 V	I, III	124±5	3.0	8.4
	0.18 Bi	IV	124±5	12.0	—
	3024 Alloy (c)	—	129±5	1.5	0.4
	—	—	—	—	—
Increased	0.014 Fe	III	155±15	11.6	15.0
	0.019 Ti	III	152±5	5.0	—
	~0.02 Co	IV	149±5	9.1	—
	1100 Alloy (d)	—	144±5	10.2	15.0

(a) Melted at 1,200° F., treated at 1,000° F. for periods of 5 x 10<sup>-2</sup> hr.  
 (b) Aluminium plus 1.8 wt. % Zr, 0.2 wt. % Mg, 0.2 wt. % Cu, 0.2 wt. % Mn, 0.2 wt. % Cr.  
 (c) Aluminium plus 1.0 wt. % Cu, 0.5 wt. % Mg, 1.5 wt. % Mn.  
 (d) Aluminium plus 1.0 wt. % (Fe + Si).

Peningkatan pembasahan dengan menurunkan tegangan permukaan material keramik yang diakibatkan oleh penambahan magnesium pada paduan aluminium telah banyak diteliti<sup>(5, 6, 8, 21,22)</sup>. Banerji dkk<sup>(23)</sup> menyatakan bahwa penambahan unsur penyusun paduan matrik dapat meningkatkan pembasahan suatu permukaan padat dengan tiga cara, yaitu :

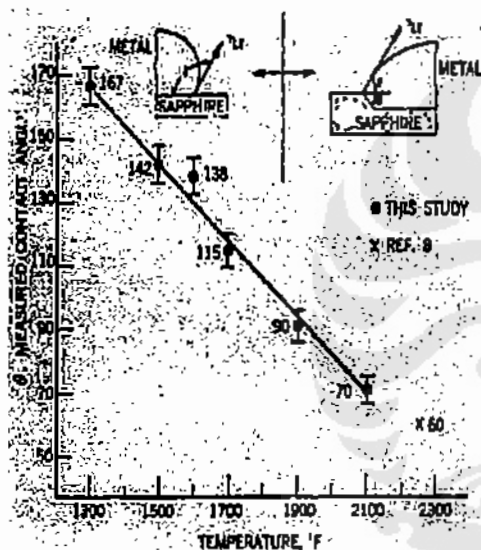
1. Dengan mengurangi tegangan permukaan paduan
2. Dengan mengurangi energi interface padat-cair
3. Dengan mendorong reaksi kimia pada interface padat cair.

Kombinasi magnesium dalam paduan dengan atmosfer nitrogen akan meningkatkan infiltrasi aluminium kedalam penguat keramik, magnesium dan atmosfer nitrogen akan mengurangi tegangan permukaan dari aluminium cair<sup>(1)</sup>.

### 1.7. Pengaruh Temperatur

Seperti yang diperkirakan, energi *interface* padat-cair berkurang terhadap waktu untuk semua sistem partikel keramik - paduan Aluminium. Efek ini diduga disebabkan sebagian oleh perubahan energi permukaan, dan sebagian oleh reaksi *interface* yang lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi.

Penguraian lapisan oksida pada fasa keramik padat baik secara fisik maupun kimia juga telah dipertimbangkan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kinetika pembasahan<sup>(8)</sup>. Logam cair memulai infiltrasi jika energi *interface* padat cair berkurang.



Gambar 3.  
Pengaruh temperatur terhadap sudut kontak  
Aluminum-Alumina<sup>(16)</sup>

Dalam banyak kasus, peningkatan kemampuan pembasahan yang besar terlihat pada suhu 1100°C untuk sistem keramik - paduan Aluminium<sup>(3)</sup>. Perilaku ini telah dijelaskan oleh penguraian lapisan tipis oksida pada permukaan keramik dan oleh perubahan lapisan oksida pada permukaan logam cair. Temperatur berpengaruh terhadap viskositas dimana pengaruh viskositas paduan aluminium leburan terhadap infiltrasi ditunjukkan oleh parameter intrinsik ( $\phi$ ) yang dikembangkan oleh

Martins dkk<sup>(24)</sup> yang dapat dinyatakan sebagai :

$$\phi = \frac{(\gamma \cos \theta)}{2\mu} \quad (2.7)$$

dimana

$\gamma$  = Tegangan permukaan ( $\text{mNm}^{-1}$ )

$\theta$  = Sudut kontak cair padat ( $^{\circ}$ )

$\mu$  = Viskositas leburan ( $\text{P}$ ,  $\frac{\text{dyne-s}}{\text{cm}^2}$ )

Nilai parameter intrinsik yang tinggi digunakan sebagai gambaran peningkatan kecepatan infiltrasi untuk leburan paduan dengan viskositas lebih rendah.

Meskipun stabilitas dari fasa keramik dalam sistem logam-keramik biasanya hanya memungkinkan solubilitas/daya larut yang kecil, namun sejumlah kecil pelarutan bisa sangat mengurangi energi/tegangan *interface* padat-cair. Adsorpsi merupakan reaksi permukaan yang tergantung pada konsentrasi dan temperatur. Hubungan antara adsorpsi dan temperatur, energi permukaan dan konsentrasi diberikan oleh persamaan adsorpsi Gibbs yaitu :

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \frac{d\gamma}{\ln dX} \quad (2.8)$$

dimana

$\Gamma$  = Adsorpsi ( $\text{m}^{\circ}\text{Cmol}$ )

$R$  = Konstanta gas ( $8.3144 \text{ joules } ^{\circ}\text{mol}$ )

$\gamma$  = Tegangan permukaan ( $\text{mNm}^{-1}$ )

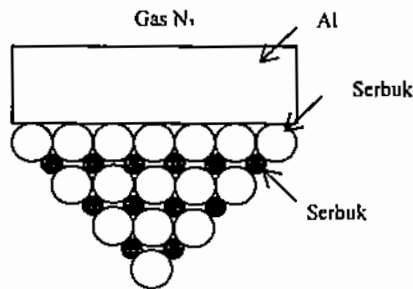
$X$  = Fraksi mol terlarut.

Semakin besar adsorpsi, maka solut semakin cenderung untuk mengurangi energi permukaan.

Pada kadar magnesium yang konstan dan kandungan nitrogen yang tetap, berbagai variabel proses lainnya dapat mempengaruhi perilaku infiltrasi. Aghajanian<sup>(1)</sup> menemukan bahwa infiltrasi meningkat dengan cara yang hampir linear dengan suhu. Selain itu, data menunjukkan bahwa terdapat suhu kritis yang dibutuhkan untuk mendorong infiltrasi spontan untuk susunan kondisi proses tertentu.

### 1.8. Mekanisme Infiltrasi Tanpa Tekanan

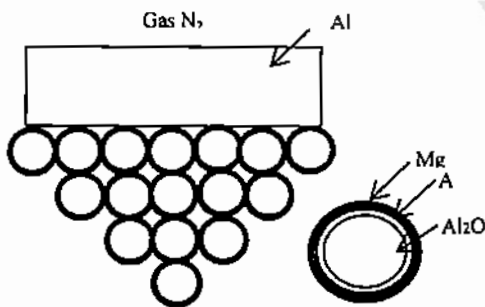
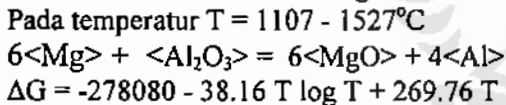
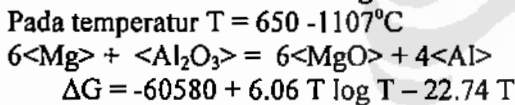
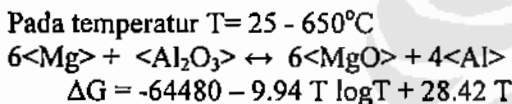
Aluminum ingot diletakkan diatas serbuk alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan magnesium dengan atmosfir gas Nitrogen (lihat Gambar 4). serbuk Mg terletak diantara serbuk penguat alumina dengan asumsi penyebaran merata.



Gambar 4.

Susunan material sebelum pemanasan

Pada temperatur semakin meningkat magnesium akan mereduksi alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi MgO menurut reaksi

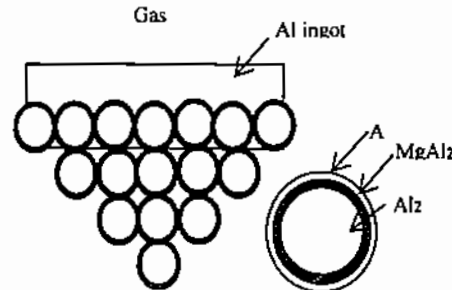


Gambar 5.

Proses reduksi dan oksidasi MgO dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> <sup>(27)</sup>

Persamaan reaksi kimia diatas menunjukkan bahwa Mg akan dapat mereduksi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi Al pada temperatur 25 sampai 1107°C, setelah temperatur 1107°C kekuatan Mg untuk mereduksi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi Al berkurang

karena MgO akan menjadi gas yang mempunyai entropi yang lebih tinggi sehingga derajat kebebasannya menurun, pada temperatur tertentu akan mencapai titik kesetimbangan reaksi.



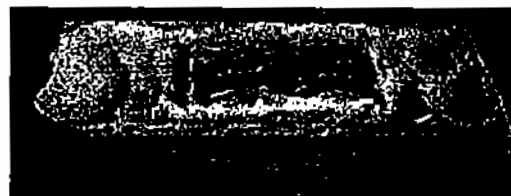
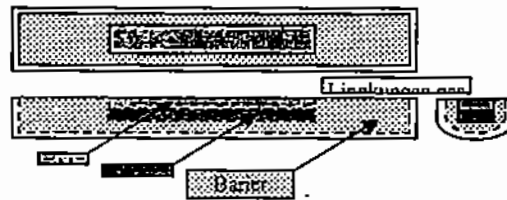
Gambar 6.

Proses pembentukan spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) <sup>(27)</sup>

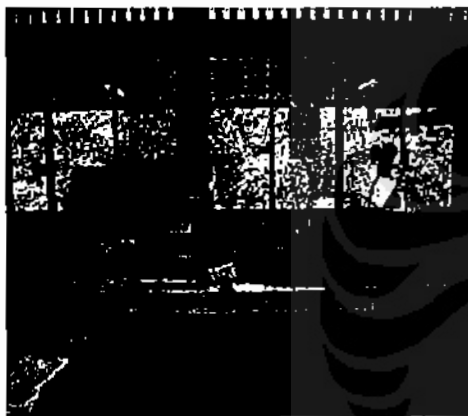
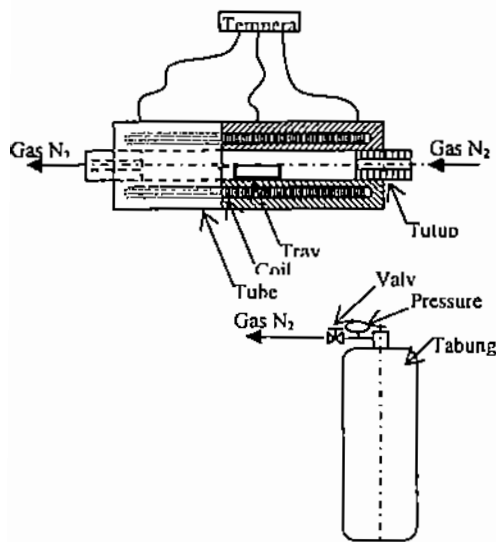
MgO yang terjadi akan meliputi serbuk alumina (Gambar 6). MgO yang terjadi akan bereaksi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menjadi MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Spinel). Al akan mudah membasahi MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Spinel) sehingga akan mudah terjadi infiltrasi Al cair terhadap keramik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

## 2. Metode Penelitian

Aluminium (99.8%) ditempatkan diatas campuran serbuk Alumina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (97.5%) dan Magnesium (98.5%) ditempatkan dalam tray (lihat Gambar 7), untuk cetakan dipakai Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(97.5%) yang dipadatkan, tray tersebut diletakkan dalam pemanas bentuk tabung yang dialiri gas N<sub>2</sub> (Gambar 8)



Gambar 7.  
Susunan Percobaan



Gambar 8.  
Instalasi Percobaan

Temperatur yang digunakan adalah 800, 900, 1000, 1100, 1200 °C dengan prosentase magnesium 4, 8, 10, 12 % berat, waktu penahanan 10 jam, dan tekanan nitrogen 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

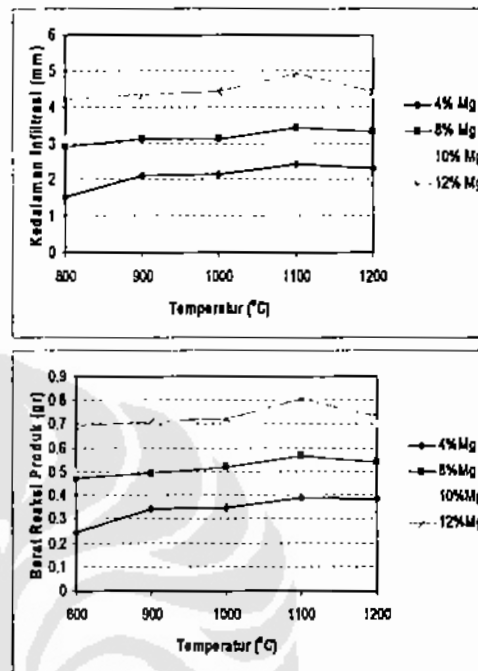
Pengujian yang dilakukan adalah Uji Porositas dan densitas, ekspansi termal, kekerasan brinnel, laju keausan, metalografi, SEM dan EDX, XRD.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Kedalaman Infiltrasi dan reaksi produk

Gambar 9 dan 10 menunjukkan peningkatan kedalaman infiltrasi seiring dengan meningkatnya temperatur dan

prosentase magnesium. Temperatur berpengaruh terhadap viskositas dimana pengaruh viskositas aluminium leburan terhadap infiltrasi ditunjukkan oleh parameter intrinsik ( $\Phi$ ) yang dikembangkan oleh Martins<sup>(24)</sup>.

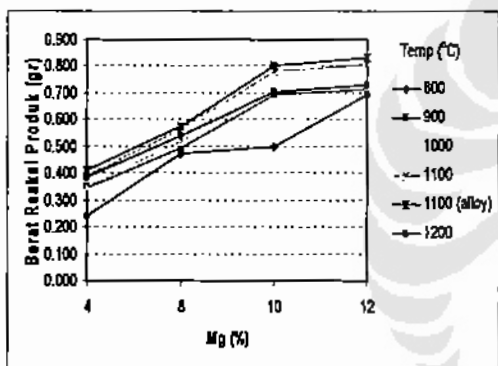
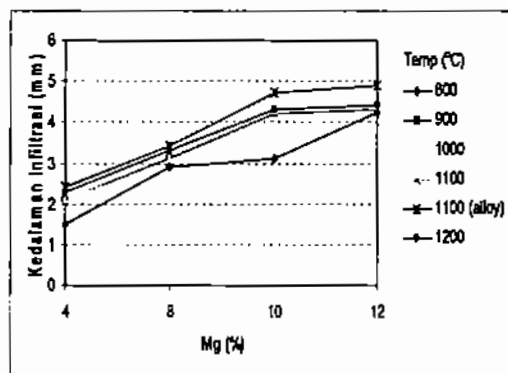


Gambar 9.  
Pengaruh Temperatur terhadap Kedalaman Infiltrasi & berat reaksi produk.

Nilai parameter intrinsik yang tinggi digunakan sebagai gambaran peningkatan kecepatan infiltrasi. Gambar 9 & 10 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur proses infiltrasi aluminium leburan kedalam partikel alumina akibat adanya gaya kapilaritas semakin besar sehingga berat produk juga meningkat, hal ini sesuai dengan pernyataan Aghajanian<sup>(1)</sup> bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin jauh kedalaman infiltrasi karena temperatur makin tinggi, energi permukaan semakin rendah sehingga pembasahan akan lebih mudah.

Peningkatan prosentase magnesium akan mengurangi tegangan permukaan, McCoy dkk<sup>(5)</sup> menyatakan bahwa magnesium bersifat efektif dalam mengurangi tegangan permukaan cairan (*liquid*) dan mendorong reaksi-reaksi

interfacial. Dari hasil penelitian ini diperoleh kedalaman infiltrasi untuk matrik Al ingot maksimum terjadi pada temperatur 1100 °C dan prosentase magnesium 12% yaitu 4.911 mm. Sedangkan untuk matrik Al paduan kedalaman infiltrasi maksimum pada 1100°C.

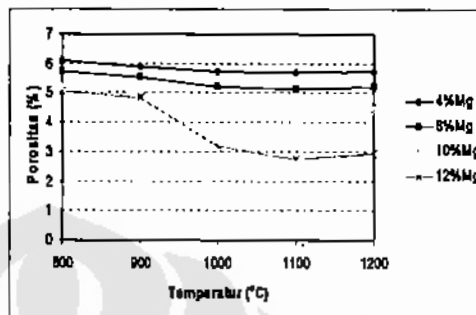
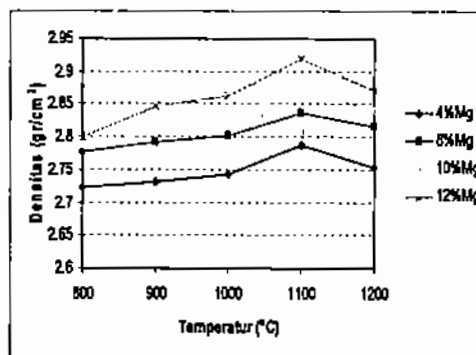


Gambar 10

Pengaruh Prosentase Magnesium terhadap Kedalaman Infiltrasi & berat reaksi produk.

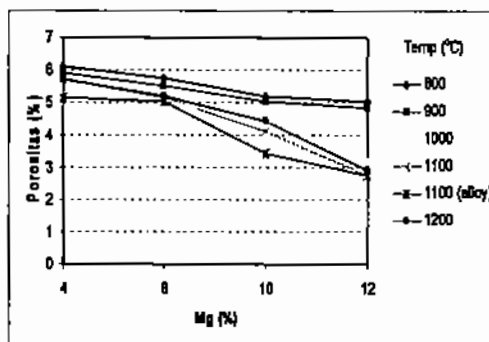
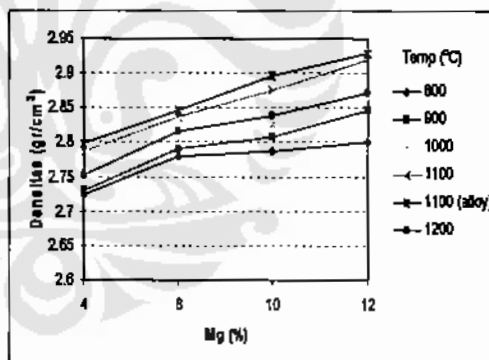
### 3.2. Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Densitas dan Porositas

Peningkatan temperatur dan prosentase magnesium menyebabkan kemampuan membasahi (wettability) antara keramik-logam lebih baik. Ini disebabkan oleh perubahan energi permukaan dan oleh reaksi interface yang lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi<sup>(9)</sup>. Temperatur yang tinggi menyebabkan berkurangnya viskositas leburan, sehingga leburan mampu mengisi pori-pori antar partikel alumina. Dengan semakin banyak/mudah aluminium leburan mengisi pori-pori menyebabkan kenaikan densitas material



Gambar 11

Pengaruh Temperatur terhadap Densitas dan Porositas



Gambar 12

Pengaruh Magnesium terhadap Densitas dan Porositas



Porositas bisa diakibatkan oleh penyusutan atau oleh gas terperangkap. Penyusutan yang terjadi pada saat pemadatan merupakan sumber utama pembentukan porositas tuangan, hal ini dihasilkan dari pengurangan volume yang diikuti pengerasan. Sedangkan porositas akibat gas, dihasilkan dari penurunan daya larut gas dalam padatan. Porositas akan mempengaruhi sifat mekanis Komposit Matrik Logam, struktur berpori akan menurunkan kekuatan dan kekerasan jika dibandingkan dengan struktur padat. Porositas juga sangat merusak kualitas permukaan setelah proses permesinan.

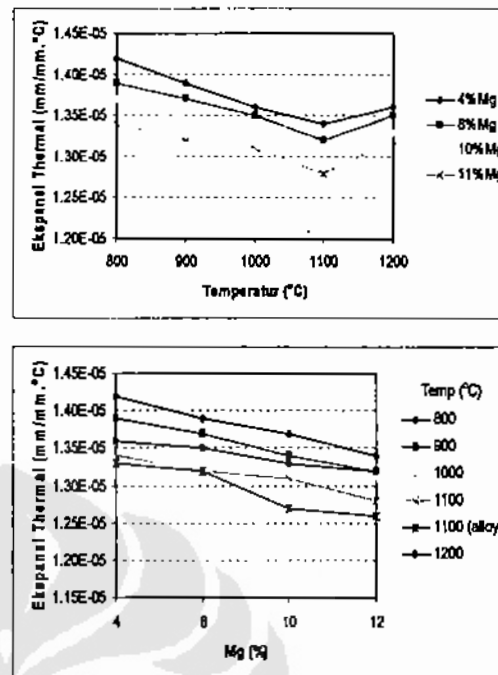
Dari data pengujian porositas material komposit hasil proses Infiltrasi tanpa tekanan menunjukkan bahwa nilai porositas mengalami penurunan dengan bertambahnya temperatur dan prosentase magnesium. Hal ini sesuai dengan teori dimana peningkatan densitas akan disertai penurunan porositas. Pada temperatur lebih tinggi dan bertambahnya prosentase magnesium, menyebabkan kemampuan pembasahan aluminium dengan alumina semakin baik dan infiltrasi aluminium mengisi pori-pori alumina semakin banyak sehingga terjadi peningkatan densitas yang diikuti penurunan porositas.

### 3.3. Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Ekspansi Termal

Ekspansi termal adalah perubahan dimensi yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur. Perhitungan untuk mendapatkan koefisien ekspansi termal dilakukan dengan mengamati perubahan panjang sampel akibat kenaikan temperatur yang terjadi didalam dilatometer.

Besarnya koefisien ekspansi termal dipengaruhi oleh komposisi suatu material. Kehadiran partikel penguat akan menambah densitas material. Semakin banyak partikel penguat akan memperbesar koefisien

ekspansi termalnya karena partikel penguat  $Al_2O_3$  mempunyai koefisien ekspansi termal lebih kecil dari aluminium.



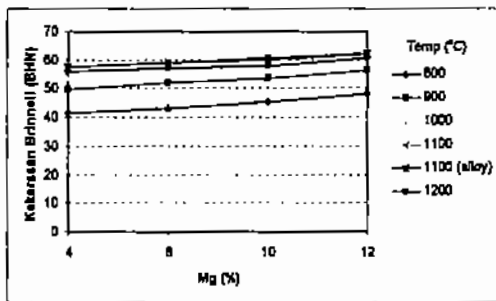
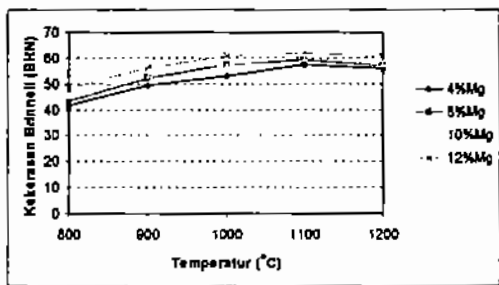
Gambar 13.

Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Ekspansi Termal

### 3.4. Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Kekerasan.

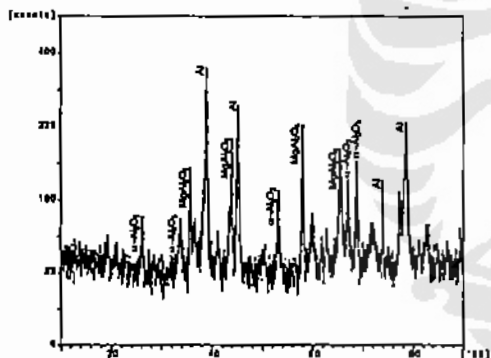
Sifat kekerasan pada umumnya merupakan fungsi dari kekuatan ikatan material keramik dan aluminium<sup>(7)</sup>. Material dengan densitas yang tinggi memiliki kecenderungan kekerasan yang meningkat karena ikatan antar partikel dari proses pembasahan.

Kekerasan suatu material juga dipengaruhi oleh senyawa(fasa) pembentuk material tersebut. Dari hasil XRD didapatkan senyawa yang terbentuk adalah Al,  $\alpha-Al_2O_3$  dan  $MgAl_2O_4$ ,  $\alpha-Al_2O_3$  sebagai partikel penguat sangat berpengaruh dalam menentukan kekuatan komposit, sedangkan  $MgAl_2O_4$  sebagai interphase sangat berpengaruh terutama pada interface dengan Al dan  $\alpha-Al_2O_3$ , interface yang terjadi sangat dipengaruhi oleh sifat pembasahannya. Semakin besar pembasahan terjadi semakin kuat ikatan interfascenya.



Gambar 14

Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Kekerasan



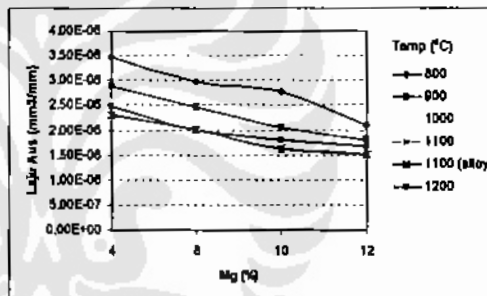
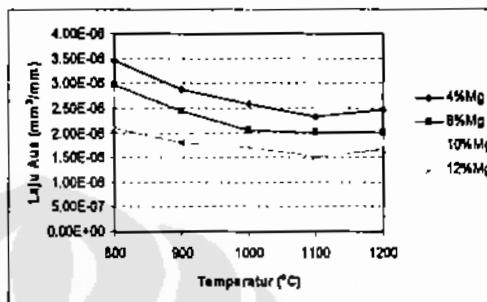
Gambar 15.

Hasil XRD untuk 4%Mg dan 800 °C

Dari hasil uji kekerasan memperlihatkan kekerasan yang naik dengan kenaikan temperatur dan prosentase magnesium. Hal ini disebabkan karena pada temperatur yang meningkat dan prosentase magnesium, gaya kapilaritas/ mampu alir dari leburan aluminium semakin mudah dan kemampuan pembasahan semakin baik sehingga memungkinkan terbentuknya senyawa baru yang lebih banyak, mengakibatkan kekerasan yang dihasilkan lebih tinggi. Hasil dari penelitian ini kekerasan maksimum dicapai pada temperatur 1100 °C.

### 3.5. Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Laju Keausan

Laju keausan dari Komposit Matrik Logam menurun dengan meningkatnya temperatur dan prosentase magnesium. Laju keausan akan berbanding lurus dengan kekerasan, dengan naiknya kekerasan akan meningkatkan ketahanan material terhadap gesekan sehingga akan menurunkan laju keausan.



Gambar 16.

Pengaruh Temperatur dan Magnesium terhadap Laju Keausan

### 4. Kesimpulan

- Berat reaksi produk yang terbentuk meningkat dengan meningkatnya temperatur dan prosentase magnesium.
- Densitas meningkat dengan meningkatnya temperatur dan prosentase magnesium. Densitas maksimum dicapai pada temperatur 1100 °C dengan prosentase magnesium 12 % yaitu 2,92 gr/cm<sup>3</sup>.
- Pororositas menurun dengan meningkatnya temperature dan prosentase magnesium. Pororositas minimum dicapai pada temperatur 1100°C dengan prosentase magnesium 12 % yaitu 2,762 %.

- Kekerasan meningkat dengan meningkatnya temperatur dan prosentase magnesium. Kekerasan maksimum dicapai pada temperatur 1100 °C dengan prosentase magnesium 12 % dan waktu tahan 10 jam yaitu 62 BHN
- Ekspansi termal menurun dengan meningkatnya temperatur, waktu tahan dan prosentase magnesium. Ekspansi termal minimum dicapai pada temperatur 1100 °C dengan prosentase magnesium 12 % yaitu  $1,28 \times 10^{-5}$  mm/mm°C.
- Laju keausan menurun dengan meningkatnya temperatur dan prosentase magnesium. Laju keausan minimum dicapai pada temperatur 1100 °C dengan prosentase magnesium 12 % yaitu  $15,35 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/mm.

#### Daftar Acuan

1. M. K. Aghajanian, M. A. Rocazella, J. T. Burke, S. D. Keck, The Fabrication of Metal Matrix Composites by a Pressureless Infiltration Technique, Chapman and Hall Ltd, 1991, hal. 447-454.
2. A. W. Urquhart, Novel Reinforced Ceramics and Metals: a Review of Lanxide's Composite Technologies, Mat Science and Eng, 1991, hal 75-82.
3. F. Delannay, L. Froyen and A. Deruyttere, J. Matter, Sci. 22, 1987, hal. 1-5.
4. I. J. Toth, W. D. Brentnall and G.D. Menke, J. Metals 24, 1972, hal. 19.
5. J. W. McCoy, C. Jones, and F. E. Wawner, SAMPE Q, 19 (2), 1988, hal. 37.
6. S.Das. T. K. Dan, S. V. Prasad and P. K. Rohatgi, J. Mater. Sci. Lett. 5, 1986, hal. 562.
7. F. A. Giroto, P. Karandikar, A. P. Majidi and T. W. Chou, Proc. Int. SAMPE Symp. 33, 1988, hal. 1260.
8. S. Y. Oh, J. A. Cornie and K. C. Russel, Sci. Proc. 8 (7-8), 1987, hal. 912.
9. M. K Aghajanian, R. A. Langensiepen, M. A Rocazella, T. Leighton, C. A. ndersson. Journal of Materials Science 28, 1993, hal. 6684.
10. J. T. Burke, M. K. Aghajanian, M.A. Rocazella, Microstructures and Properties of Discontinuous Metal Matrix Composites Formed by Unique Low Cost Pressureless Infiltration Technique, SAMPE Symp,1989, hal. 2440.
11. D. G. Clark, J. A. Little & T. W. Clyne, Ceramic/Metal Wetting in a Spontaneous Infiltration Process for Fabrication of Metal Matrix Composites, Advanced Composites '93, 1993, hal 993.
12. S. Y. Oh, J. A. Cornie, and K. C. Russell, Wetting of Ceramic Particulates with Liquid Aluminum Alloys: Part II. Study of Wettability, Met. Trans. A 20 A, 1983, hal. 538.
13. Mel M. Schwartz, Composite Material Handbook, McGraw-Hill Inc, 1954, hal. 1-15.
14. Mel. M. Schwartz, Composite Material; Processing, Fabrication, and Applications, Prentice Hall Inc, 1997, hal. 143-201.
15. May, C. R. 1990. An economical . net shape process for metal matrix composites. SME EM 90-440.
16. S. M. Wolf, A. P. Levitt, and J. Brown, Whisker-metal matrix bonding, Chemical Engineering Progress (Vol. 62, No. 3), 1996, hal. 74-78.
17. Pat L. Mangonon, Ph.D, P.E., FASM, The Principels of Material Selection for Engineering Design,1999, hal 580-584.
18. Aruna Bahadur, Behaviour of Al-Mg alloys at high temperatur, Journal of Materials Science 22, 1987, hal. 1941-19943
19. M. Whitaker, The oxidation of Al-Mg alloys by steam, J. Inst. Met. 82, 1954, hal. 107-116.
20. A.M. Korol'of, Otdelenie Teknicheskik Nauk 2, 1956, hal. 35-42.
21. J.A. Cornie, A. Mortensen and M. C. Fleming, Proc. ICCM and ECCM 2, 1987, hal. 2297.
22. T. Choh, R. Kamel and T. Oki, J. Metal 78, 1987, hal. 286.

23. A. Benerji, P. K. Rohatgi and W. Reif, *Metallwiss technik* 38, 1984, hal. 656.
24. G. P. Martins, D. L. Olsen and G. R. Edward, *Met. Trans.* 19B, 1988, hal. 95.
25. David R. Gaskell, *Introduction to Metallurgical Thermodynamic*, 1981, hal. 287
26. O. Kubaschewski, E. LL. Evans, C. B. Allock, *Metallurgical Thermochemistry*, 1967, hal 421-429.
27. Scholz, R. Gunther, J. Rodel, P. Greil, *Formation of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fibre-reinforced AlN/Al-matrix composites (Mg)-melt nitridation*, *Journal of*

