

FABRIKASI DAN KARAKTERISASI BEBERAPA PADUAN ALUMINIUM - ALUMINA PARTIKULAT KOMPOSIT MELALUI PENGECORAN

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF SEVERAL ALUMINUM-ALUMINAS PARTICULATE COMPOSITES ALLOY BY CASTING

Achmad Sjaifudin T

Balai Besar Tekstil, Jalan Ahmad Yani No 390, Bandung
Telp (022) 7206214, Fax (022) 7271288

Diterima: 27 Oktober 2012

Direvisi: 20 November 2012

Disetujui: 13 Desember 2012

ABSTRAK

Paduan aluminium-partikulat keramik komposit meningkatkan sifat mekanik dan fisik paduan aluminium tersebut. Namun kesulitan terbesar adalah masalah mampu membasahi (*wettability*) dari matriks aluminium (Al) terhadap partikel keramik dan reaksi antar muka antara matriks dengan partikel. Oleh karena itu telah dilakukan percobaan pembuatan paduan aluminium yang diperkuat oleh partikulat alumina (*alumina particulate reinforced aluminium alloys*) melalui proses pengecoran konvensional untuk mengetahui dan dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Prosesnya adalah dengan cara mencampur logam cair paduan Al dengan partikulat alumina, kemudian diaduk sebelum dituangkan ke dalam cetakan besi cor. Matriksnya adalah Al murni, Al-1,5 wt% Mg, Al-4,5 wt % Cu dan Al-18 wt% Ni. Hasil dari beberapa percobaan, setelah dikarakterisasi dengan menggunakan SEM ini tidak terlalu sempurna karena permasalahan rendahnya mampu basah dan perbedaan masa jenis antara partikel alumina dengan matriks sehingga menghasilkan penguatan sebagian saja.

Kata kunci : Aluminium komposit, partikulat alumina, mampu basah, pengecoran, karakterisasi

ABSTRACT

Aluminum-alloy particulate ceramic composites improve mechanical and physical properties of the aluminum alloy. However, the biggest difficulty encountered during fabrication is wettability of the matrix aluminium (Al) to the ceramic particles and interface reaction between the matrix and particle. It is therefore, some experimental work involving alumina particulate reinforced by aluminum alloys has been carried out, where the composites were fabricated through conventional casting and were characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM). The matrix/reinforcement mixtures were stirred before pouring into a cast iron mould. The matrices were pure Al, Al-1,5 wt% Mg, Al-4,5 wt% Cu dan Al-18 wt% Ni. Then, the composites were characterised by SEM. The results show that a limited succes was achieved in fabrication due to poor wettability and the density difference between alumina particles and the matrix which resulted in localized reinforcement.

Keywords: Aluminium composite, alumina particulate, wettability, casting, characterization

PENDAHULUAN

Komposit matriks logam adalah logam yang diperkuat oleh serat kontinyu atau diskontinyu, atau partikulat, atau berbentuk serpihan (*flake*). Matriksnya dapat berupa bermacam logam ataupun paduannya. Namun, teknologi saat ini lebih mengembangkan terutama memakai aluminium (Al), magnesium (Mg), tembaga (Cu), titanium (Ti) dan beberapa *Ni-based super alloys*.

Penelitian dan pengembangan mengenai komposit matriks logam, yang dikenal dengan *metal matrix composites (MMCs)*, telah dilakukan lebih dari tiga dekade di berbagai negara begitu juga di Indonesia, namun sampai saat ini belum ada yang menerapkannya di industri dalam negeri. Di beberapa negara komposit matriks logam sudah diproduksi sebagai bahan yang dikategorikan sebagai material maju. Berbagai industri telah banyak menggunakannya seperti pada industri otomotif,

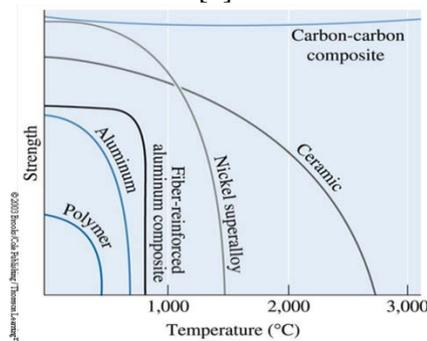
pesawat terbang, ruang angkasa, peralatan olah raga, elektronika dan sebagainya.

Penggunaan komposit matriks logam terutama menggantikan peran logam ataupun paduannya ataupun sebagai substitusi bahan logam lainnya karena sifatnya, terutama sifat mekanik (*mechanical properties*) yang lebih tinggi dibandingkan bahan logam matriksnya, dengan masih mempertahankan bobotnya atau bahkan jauh lebih ringan. Contoh yang sangat menarik perhatian adalah sifat mekanik yang masih bertahan pada temperatur tinggi seperti pada temperatur kamar. Gambar 1 menunjukkan pengaruh temperatur terhadap kekuatan dari beberapa material [1]. Terlihat bahwa Al komposit mampu mempertahankan kekuatannya pada temperatur tinggi dibandingkan dengan paduan aluminiumnya yang menurun drastis pada waktu temperaturnya naik.

Literatur lainnya juga menyebutkan bahwa komposit komposit SiC/Al dan komposit Al_2O_3/Al mampu mempertahankan kekuatannya masing-masing pada temperatur 260°C dan 400°C [2,3]. Sifat ini sangat penting bagi pemakaian pada temperatur tinggi. Sebagai contoh piston mesin diesel yang diproduksi Toyota yang terbuat dari paduan Al komposit menggantikan bahan sebelumnya yang dipakai yaitu paduan Al [4]. Piston komposit tersebut mempunyai ketahanan panas dan gesek yang jauh lebih baik dibandingkan dengan bahan sebelumnya. Begitu juga Honda Prelude memakai logam matriks komposit pada silinder linernya [5]. Gambar 2 memperlihatkan rancangan material pada pesawat ruang angkasa yang menggunakan berbagai jenis komposit [1]. Sebagai ilustrasi lainnya adalah pesawat tempur Eropa Av-8B Mk (Harrier II Aircraft) memakai hampir 35 % bahan komposit [6], yang artinya

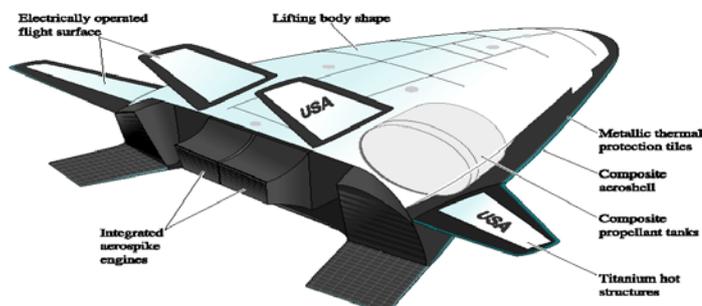
pesawat ini lebih ringan, sehingga lebih baik bermanuver, dan lebih irit bahan bakar. Tabel 1 memperlihatkan beberapa potensi penerapan dari komposit matriks logam [7], sedangkan Tabel 2 menyajikan potensi aplikasi dari berbagai komposit matriks logam yang dibuat dengan cara dicor [8].

Akhir-akhir ini, dengan ditemukan cara atau metoda material berukuran nano, maka penelitian dan pengembangan komposit matriks logam juga menggunakan bahan berukuran nano terutama untuk bahan penguatnya (*reinforcement*). Sebagai contoh serat SiC ataupun partikulat Al_2O_3 yang berukuran nano. Komposit tersebut mempunyai kelebihan sifat mekanik lebih tinggi dan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan bahan penguatnya yang berukuran mikro [9].



Gambar 1. Pengaruh Temperatur terhadap Kekuatan dari Berbagai Material [1].

Terlihat bahwa beberapa komposit, paduan khusus dan keramik tetap mempunyai kekuatan yang sangat baik pada temperatur tinggi.



Gambar 2. Gambar Skematis dari Prototip Pesawat X-33 yang Dirancang dan Akan Dibuat di Negara Amerika Serikat [1].

Tabel 1. Berbagai-Macam Potensi Aplikasi dari Komposit Matriks Logam [7]

Matriks	Bahan Penguat	Potensi Penggunaan
Aluminium Magnesium Lead Copper	Grafit	Satelit, peluru kendali and konstruksi helikopter Konstruksi/struktur pesawat ruang angkasa dan satelit Pelat penyimpan baterai Kontak listrik dan bantalannya
Aluminium Magnesium	Boron	Bilah kompresor dan struktur penunjangnya Konstruksi antena
Titanium	Boron	Bilah kipas mesin jet
Aluminium Titanium	Borsic	Bilah impeler/propeler mesin jet Bilah impeler/propeler untuk struktur temperatur tinggi
Aluminium Lead Magnesium	Alumina	Superkonduktor pada reaktor fusi Pelat penyimpan baterai Konstruksi transmisi helikopter
Aluminium Titanium Superalloy	Silicon Carbide	Struktur temperatur tinggi Struktur temperatur tinggi Komponen mesin temperatur tinggi
Superalloy	Molybdenum	Komponen mesin temperatur tinggi
Superalloy	Tungsten	Komponen mesin temperatur tinggi

Tabel 2. Aplikasi dan Fitur Khusus dari Komposit Matriks Logam dengan Cara Dicor [8]

Komposit	Aplikasi	Fitur Khusus
Gr/Al	Bantalan-bantalan (bearing)	Lebih murah, lebih ringan, mampu lubrikasi sendiri, penghematan/konservasi Cu, Pb, Sn, Zn, etc
Gr/Al, SiC-Al ₂ O ₃ /Al, Fiber FP/Al	Komponen otomotif: piston, pelapis silinder, cincin piston, batang penghubung (connecting rods).	Mengurangi keausan, <i>antiseizing</i> , ringan, konservasi bahan bakar, meningkatkan efisiensi mesin.
Gr/Cu Gradia (Hitachi)	Kontak listrik geser (Sliding electrical contacts)	Penghantar listrik yang sangat baik dan sifat <i>antiseizing</i>
SiC/Al	<i>Turbocharger impellers</i>	Penggunaan temperatur tinggi
Gelas atau gelembung karbon didalam matriks Al		Material yang sangat ringan
Komposit Serat Karbon cor/Mg	Komposit tubular untuk struktur pesawat luar angkasa	Nir ekspansi termal (Zero thermal expansion), kuat pada temperatur tinggi, bagus kekuatan spesifiknya dan kekakuan (stiffness) yang spesifik.
Zircon/Al. SiC/Al/SiO ₂ /Al	Pisau/pahat mesin perkakas, impeller	Keras, material tahan gesekan
Al-char, Al-clay		Ongkos rendah dan bahan yang energi rendah, Low cost, low energy materials

Metoda Fabrikasi

Metoda fabrikasi komposit matriks logam umumnya ada tiga cara yaitu :

1. Pada keadaan padat (*solid state*) seperti ikatan difusi, metalurgi serbuk, dan elektrodeposisi
2. Pada keadaan fasa cair atau sebagian cair (*liquid or partially liquid phase*) dengan cara infiltrasi seperti pengecoran dan penekanan panas (*hot pressing*)
3. Pada keadaan uap (*vapour state*) seperti *sputtering*, *ion plating*, *chemical and physical vapour deposition (CVD dan PVD)*.

Proses lanjutan dari ketiga cara itu acapkali dilakukan seperti proses *age hardening* pada paduan Al komposit. Pada saat ini yang paling populer adalah cara 1 dan 2 yakni pada

keadaan padat dan cair. Kedua cara ini terutama digunakan pada industri otomotif, pesawat terbang, peralatan olah raga dan kesehatan, elektronik dan industri-industri lainnya.

Fabrikasi Metoda Padatan (*Solid State*)

Fabrikasi yang akan diulas terutama fabrikasi ikatan difusi dan metalurgi serbuk karena kedua metoda ini adalah yang paling banyak dipakai untuk pembuatan komposit matriks logam, serta percobaannya akan menggunakan metoda pengecoran.

a. Ikatan Difusi

Ikatan difusi digunakan untuk komposit yang bahan penguatnya berbentuk serat kontinyu (dengan diameter kurang lebih 100 µm), serpihan atau lembaran. Prinsip dasar dari

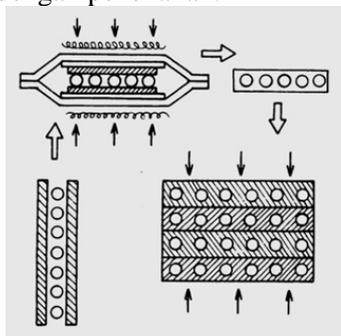
teknologi ini adalah preparasi komposit di mana logam matrik dan penguatnya bersama-sama dipanaskan pada suatu tungku selanjutnya ditekan pada temperatur tinggi tetapi di bawah temperatur leleh matriksnya sehingga terjadi ikatan difusi antara matriks logamnya dengan serat penguatnya. Karena ada beberapa logam yang mudah teroksidasi proses tersebut dilakukan dalam keadaan hampa udara atau dalam atmosfer inert. Dua langkah fabrikasi pada prosesnya yaitu :

1. Preparasi *monolayer* dengan beberapa cara (misalnya elektro deposisi, pemintalan filamen dari seratnya)
2. Pengaturan *monolayers* tersebut sehingga membentuk lapisan-lapisan atau matras yang selanjutnya dilakukan penekanan-panas (*hot pressing*)

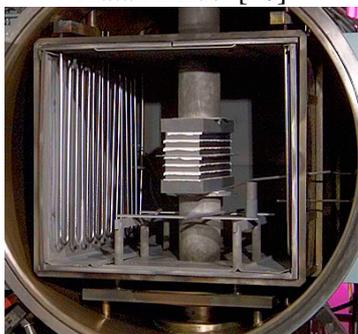
Kondisi penekanan tergantung pada jenis matriks logam, misalnya :

- Komposit Cu - kawat W : suhu 700°C, tekanan 100 MPa, waktu 600 detik.
- Komposit Al - serat boron: suhu 450°C, tekanan 40 MPa, waktu 600 detik.

Gambar 3 menguraikan bagan proses skematis dari fabrikasi melalui ikatan difusi. Sedangkan Gambar 4 memperlihatkan tungku dan lapisan-lapisan dari *monolayers* yang siap diproses dengan penekanan.



Gambar 3. Gambar Skematis dari Aliran Proses Ikatan Difusi [10]



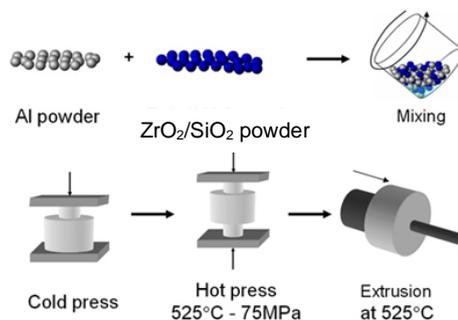
Gambar 4. Tungku Pemanas Vakum dan Alat Pres untuk Proses Ikatan Difusi Komposit Matriks Logam [11].

b. Metalurgi Serbuk

Ada dua metoda fabrikasi metalurgi serbuk untuk pembuatan komposit matriks logam yakni metoda matriks-serbuk kering (*dry matrix powder*) dan bubur matriks-serbuk paduan (*slurry of matrix-alloy powder*). Pada metoda pertama serat atau partikel dicampur dengan serbuk logam matriksnya sampai homogen. Selanjutnya dilakukan proses pemadatan dengan cara dipres yang akan menghasilkan komposit padatan awal/muda (*green compaction composite*). Langkah berikutnya terhadap komposit adalah proses sinter sampai mendekati temperatur leleh dari matriks logamnya. Proses sinter ini biasanya pada kondisi vakum atau atmosfer gas inert H₂, N₂ dan Ar.

Untuk mengurangi atau menghilangkan porositas maka acapkali dilanjutkan dengan pengepresan isostatik panas (*hot isostatic pressing*). Hasilnya nyaris 100% masa jenis teoritisnya. Proses ini pun sangat berhasil membuat komposit matriks logam untuk komposit yang kandungan bahan penguatnya relatif rendah 15–40 % vol. Gambar 5 menggambarkan proses pembuatan komposit matriks logam dengan cara metalurgi serbuk [12].

Pada metoda kedua, bubur matriks-serbuk paduan dicorkan ke satu bundel uniaxial serat yang terbungkus dalam suatu tabung, kemudian disinter sampai sebagian permukaannya meleleh, dan diakhiri dengan pengepresan isostatik panas hingga mencapai kepadatan sepenuhnya (*full density*). Metoda ini mampu memfabrikasi komposit matriks logam dengan diameter serat yang cukup besar yaitu 200–500 μm yang kandungan seratnya mencapai 65 % vol.



Gambar 5. Skematis Proses Pembuatan Komposit Matriks Logam melalui Metalurgi Serbuk [12].

Fabrikasi Metoda Cair (*Liquid State*)

Ber macam-macam metoda untuk memanufaktur komposit matriks logam dengan cara mencairkan logam matriksnya terlebih dahulu akan dijelaskan lebih lanjut.

a. Pengecoran

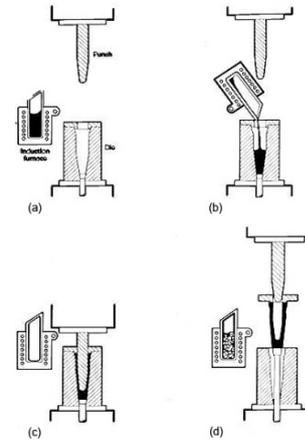
Metoda pengecoran adalah cara yang paling ekonomis dan untuk fabrikasi komposit matriks logam. Cara ini terutama menguntungkan untuk membuat bentuk yang rumit. Komposit paduan Al dan Mg acap kali difabrikasi dengan memakai metoda pengecoran karena hampir tanpa reaksi antar muka antara bahan penguat dengan logam matriksnya yang akan merugikan sifat komposit. Metoda pengecoran yang umumnya dipakai adalah pengecoran peras (*squeeze casting*), pengecoran kompo (*compo casting*), pengecoran bertekanan (*pressure die casting*), dan pengecoran investasi (*investment casting*). Tetapi pengecoran konvensional tetap dipakai, khususnya untuk skala laboratorium, yang gunanya untuk mengetahui terlebih dahulu karakter-karakter terutama sifat cor dan reaksi antar muka antara penguat dengan matriksnya yang akan menentukan proses dan penanganan lebih lanjut fabrikasi komposit melalui pengecoran.

1. Pengecoran Peras (*Squeeze Casting*)

Pengecoran peras merupakan proses pengecoran solidifikasi bertekanan pada suatu cetakan logam. Gambar 6 memperlihatkan skema proses pengecoran peras [13]. Fabrikasi komposit matriks logam sering menggunakan metoda ini. Sebagai contoh pembuatan piston untuk mesin diesel. Secara umum prosesnya dapat digambarkan sebagai berikut:

- Pembuatan prabentuk dari penguat selanjutnya dipanaskan pada tungku sampai dengan temperatur yang telah ditentukan.
- Penguat prabentuk selanjutnya diletakkan didalam cetakan sebelum penuangan logam cair.
- Langkah selanjutnya penuangan logam cair ke dalam cetakan dan selanjutnya langsung dilakukan proses penekanan (*forging*) sampai proses solidifikasi berakhir. Besarnya tekanan bisa mencapai 200 MPa
- Setelah itu proses pencabutan benda kerja dari cetakan.

Tekanan yang tinggi dan dilakukan selama solidifikasi menghasilkan bebas porositas, mikrostruktur yang halus, permukaan benda cornya yang sangat bagus, serta kekuatan dan kuat lelahnya jauh meningkat dibandingkan pengecoran konvensional.



Gambar 6. Proses Skematis dari Pengecoran Peras.

- peleburan logam, pemanasan cetakan dan lubrikasi cetakan (untuk komposit maka ada pemanasan prabentuk penguat).
- penuangan logam cair (untuk komposit, prabentuk yang sudah panas diletakkan ke dalam cetakan sebelum penuangan logam cair).
- Cetakan ditutup dan dilanjutkan penekanan selama solidifikasi.
- Penarikan dan pencabutan benda kerja [13].

2. Pengecoran Kompo

Pengecoran kompo juga dikenal dengan *rheocasting*, merupakan proses yang berdasarkan karakter thixotropic suatu logam yang cair sebagian. Pengecoran sangat cocok untuk membuat komposit matriks logam yang tidak dapat membasahi bahan penguatnya. Prinsip dasar metoda pengecoran kompo adalah pencampuran antara matriks yang cair sebagian (seperti bubuk/*slurry*) dengan bahan penguatnya dilakukan secara mekanis atau pengadukan sehingga partikel penguat terikat secara mekanis. Selanjutnya bubuk yang sudah homogen dapat dicor dengan cara pengecoran peras atau pengecoran yang bertekanan lainnya.

3. *Pressure Die Casting*

Beberapa pengecoran yang menggunakan tekanan dengan cetakan logam (*die*) baik itu gravitasi, bertekanan rendah maupun tinggi sudah digunakan untuk membuat komposit

matriks logam. Seperti halnya pengecoran peras, bahan penguatnya dibuat terlebih dahulu, dipanaskan dan diletakkan didalam cetakan, selanjutnya dilakukan proses pengecoran. Namun besar tekanannya di bawah dari pengecoran peras. Keuntungan dari *pressure die casting* adalah mampu membuat benda cor yang lebih rumit dan berukuran lebih besar dibandingkan cor peras. Komponen yang terbuat dari komposit matriks logam, terutama yang bermatriks paduan Al, banyak yang dimanufaktur melalui teknologi ini.

4. Pengecoran Investasi

Fabrikasi komposit matriks logam melalui pengecoran investasi adalah salah satu fabrikasi yang menghasilkan nyaris produk jadi (*near net-shape product*), ukuran yang presisi serta mampu mengecor bentuk yang sangat rumit. Seperti halnya proses cor bertekanan, bahan penguatnya harus dibuat dulu menjadi prabentuk. Pemasangan bahan penguat tersebut di dalam cetakan setelah pengeluaran pola lilin, kemudian dipanaskan bersama-sama dengan cetakan sebelum dilakukan penuangan logam cair.

Komposit logam paduan Al dan Mg yang diperkuat oleh serat karbon, SiC, alumina telah menggunakan teknologi pengecoran investasi untuk membuat berbagai komponen seperti elektronik, otomotif, persenjataan dan sebagainya yang menjadi unggulan dari negara maju.

BAHAN DAN METODE

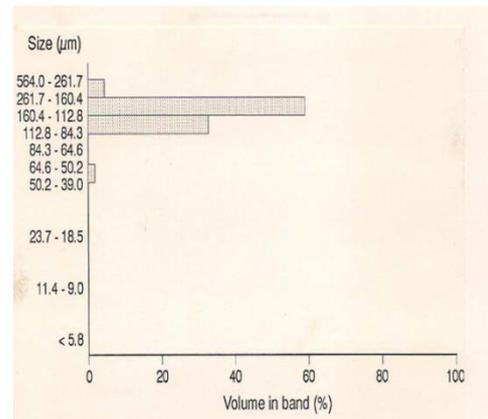
Bahan

- Al ingot (99,98 %)
- Kawat Mg (99,99 %)
- Serbuk Cu (99,99 %)
- Kawat Ni (99,80 %)
- Partikel alumina (Al_2O_3) dengan ukuran rata-rata 250 μm , distribusi partikel dapat dilihat di Gambar 7.
- Bahan degasser (Produk Foseco)

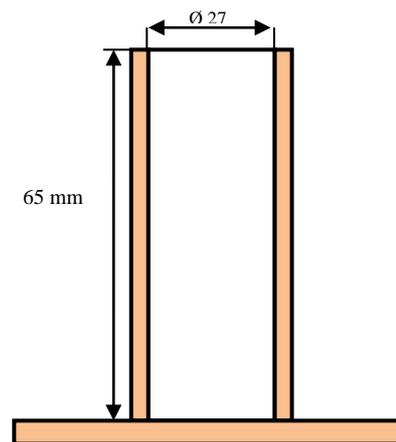
Peralatan

- Tungku pelebur krusibel kapasitas 5 kg Al cair (bahan bakar minyak)
- Tungku pemanas listrik kapasitas 1000°C
- Ladel kapasitas 1 kg Al cair
- Timbangan kapasitas 1000 g
- Timbangan kapasitas 10 kg

- 1 set cetakan logam (lihat Gambar 8)
- Thermocouple*
- Mixer dengan batang pengaduk keramik
- Mesin peralatan poles spesimen
- Scanning Electron Microscopy (SEM)*
- X-ray diffraction (XRD)*
- X-ray Energy Dispersive Spectrometry*



Gambar 7. Distribusi Ukuran Partikel Alumina yang Dipakai dalam Percobaan



Gambar 8. Cetakan logam

Metode

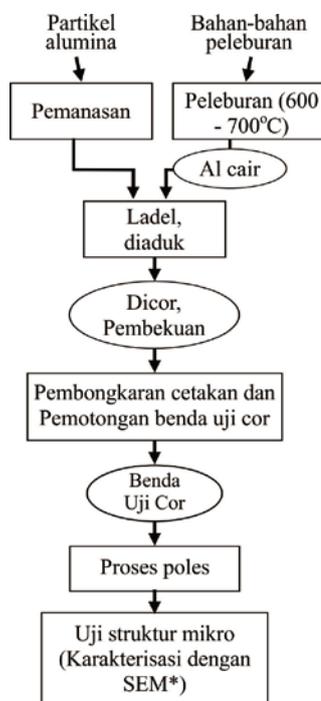
Pelaksanaan percobaan dilakukan sebagaimana yang ditunjukkan pada diagram alir percobaan (Gambar 9). Partikel alumina ditimbang sesuai dengan parameter percobaan, selanjutnya dipanaskan di dalam tungku pemanas sampai dengan 400°C. Peleburan dilakukan menggunakan tungku krusibel berbahan bakar minyak solar dengan kapasitas 5 kg. Kemudian setelah Al melebur dimasukkan bahan paduan sesuai dengan komposisi matriks yang dibuat. Setelah Al mencair dan diukur temperaturnya $\pm 650^\circ C$, dilakukan proses penghilangan gas dengan cara memasukkan bahan degasser ke logam cair. Selanjutnya,

penuangan logam cair ke ladell dan bersamaan partikel alumina panas dimasukkan ke ladell dan diaduk dengan kecepatan 400 rpm selama \pm 30 detik agar campuran tidak membeku dan partikel terdistribusi merata pada logam. Campuran tersebut dicorkan ke dalam cetakan logam.

Parameter percobaan adalah sebagai berikut :

1. Matriks Al murni dengan tujuan untuk mengetahui karakter logam cair Al untuk mengikat partikulat alumina
2. Matriks paduan Al-1,5 wt%Mg dibuat pada waktu peleburan. Tujuan penambahan Mg adalah meningkatkan mampu basah dari Al cair.
3. Matriks paduan Al-4,5 wt%Cu, seperti halnya matriks paduan Al tersebut di atas, baik itu proses pemaduan maupun tujuannya.
4. Matriks paduan Al-18%wt%Ni dibuat pada waktu peleburan. Tujuan pembuatan matriks ini adalah untuk meneliti kemampuan suatu bahan intermetalik sebagai matriks komposit.
5. Penambahan alumina sebesar 10% dari berat logam matriksnya.

Selanjutnya semua komposit dikarakterisasi dengan menggunakan SEM.



Gambar 9. Diagram Alir Percobaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

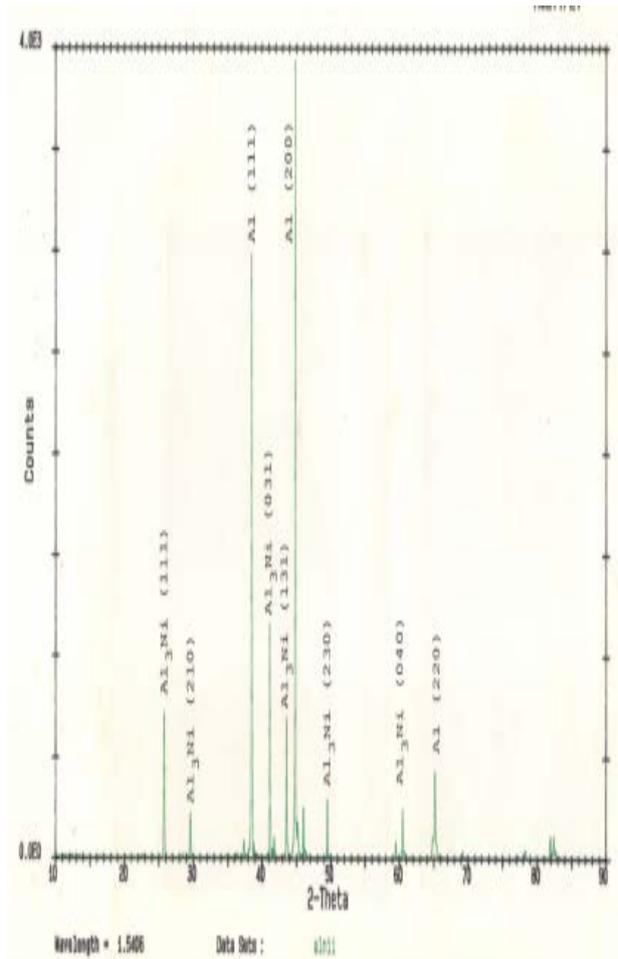
Matriks Al murni, Al-Mg dan Al-Cu

Sebagaimana telah diduga dan diilustrasikan dalam beberapa literatur bahwa salah satu kesulitan terbesar fabrikasi Al komposit adalah masalah mampu basah Al dan paduannya terhadap partikel alumina. Matriks-matriks Al murni, Al-Mg, dan Al-Cu semua tidak dapat mengikat atau menangkap partikel alumina, kecuali matriks Al-Ni kelihatannya mampu menangkap sebagian partikel alumina. Masalah lainnya untuk semua matriks adalah pengendapan alumina partikel. Selain itu, telah terjadi aglomerasi-segregasi dari partikel alumina.

Ketidakmampuan dari Al murni mengikat partikel-partikel alumina tersebut karena derajat mampu basah dari Al murni cair lebih besar dari 90° , diperkirakan sebesar 150° pada temperatur 900°C seperti tercantum pada Tabel 3. Walaupun telah dilakukan pengadukan sebelum penuangan ternyata perlakuan ini tidak mampu menangkap partikel alumina. Penambahan Mg dan Cu yang tujuan pemaduannya adalah memperbaiki derajat mampu basah juga tidak mampu mengikat partikel alumina. Seperti halnya Al murni, kedua paduan itu diperkirakan derajat mampu basahnya lebih dari 90° .

Masalah kedua yang dihadapi adalah cepatnya pengendapan dari partikel alumina di dalam logam cair. Perkiraan hal ini terjadi karena adanya perbedaan masa jenis dari logam cair dengan alumina yaitu $2,7 \text{ g/cm}^3$ untuk Al dan alumina sebesar $3,69 \text{ g/cm}^3$.

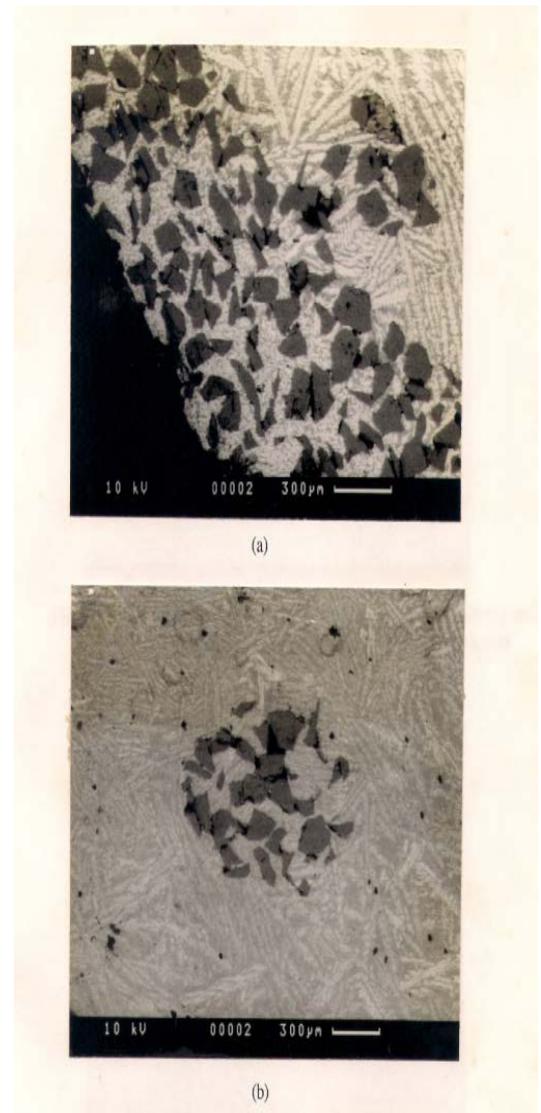
Ada beberapa cara yang disarankan pada beberapa literatur agar Al dan paduannya dapat menangkap partikel alumina, yaitu dengan cara melapisi partikel alumina dengan MgO . Namun hal ini akan menambah panjang rantai proses fabrikasi. Cara yang kedua menggunakan pengecoran kompo atau *compo casting*, yaitu pencampuran partikel-matriks pada kondisi solidifikasi sebagian dan dilakukan pengadukan, sehingga partikel tertangkap secara mekanis serta dicegahnya pengendapan partikel. Pengadukan yang kontinu akan memberi efek perbaikan adhesi dan ikatan antara partikel dengan matriks. Cara lainnya adalah dengan menggunakan pengecoran peras dan partikel alumina telah dibuat prabentuk. Tekanan yang tinggi selama proses solidifikasi akan memperbaiki mampu basah logam matriksnya.



Gambar 12. X-Ray Diffraction Analysis dari Al-18 Wt.%Ni

Distribusi Partikel

Salah satu masalah yang sulit dihadapi pada pembuatan komposit melalui proses pengecoran adalah terjadinya pengendapan partikel alumina yang disebabkan perbedaan masa jenis. Masa jenis matriksnya sebesar $3,09 \text{ g/cm}^3$, sedangkan partikel alumina sebesar $3,69 \text{ g/cm}^3$, sehingga dihasilkan distribusi yang tidak merata seperti terlihat pada Gambar 13 (a). Gaya pengadukan juga diharapkan mampu membentuk fasa primer Al_3Ni menjadi bentuk partikel rosset atau spheroid yang diharapkan mampu menangkap partikel alumina karena gaya tumbukan antar kedua jenis partikel.



Gambar 13. Distribusi Partikel Alumina Tidak Merata di Matriks Al-18 wt.% Ni. (a) Foto Bagian Bawah dari Sampel, Efek Gravitasi. (b) Agglomerasi Partikel Alumina.

Kecepatan pengendapan dapat diprediksi dari hukum Stoke's yang mengasumsikan bentuk partikelnya bulat dan tidak ada friksi atau interaksi antar partikel.

$$V_p = \frac{2R_p x^2 (\delta p - \delta m) g}{9\mu}$$

V_p = Kecepatan pengendapan partikel

R_p = radius partikel

δp = masa jenis partikel

δm = masa jenis matriks

g = gaya gravitasi

μ = viskositas logam cair

Jelas dari persamaan di atas bahwa kecepatan partikel semakin cepat dengan menurunnya viskositas logam cair yang bergantung temperturnya. Untuk itu tingginya temperatur di atas temperatur solidus yang disebut juga dengan *degree of superheat* sangat berpengaruh terhadap kecepatan pengendapan. Tumbukan antar partikel juga akan menghalangi pengendapan. Oleh karena itu pengaruh dari parameter *superheat* temperatur, kecepatan dan lamanya pengadukan, pra-pemanasan dari partikel sangat penting agar partikel alumina dapat ditangkap oleh matriks. Gambar 13 (b) memperlihatkan aglomerasi dari partikel alumina yang disebabkan parameter-parameter tersebut.

Perbesaran dari Gambar 13 seperti yang terlihat pada Gambar 14 memperlihatkan bahwa aglomerasi dari partikel alumina menghalangi infiltrasi logam matriksnya dan terjadi porositas. Ikatan yang bagus antar partikel dan matriks terlihat jelas pada Gambar 15 dengan meningkatkan perbesarannya.

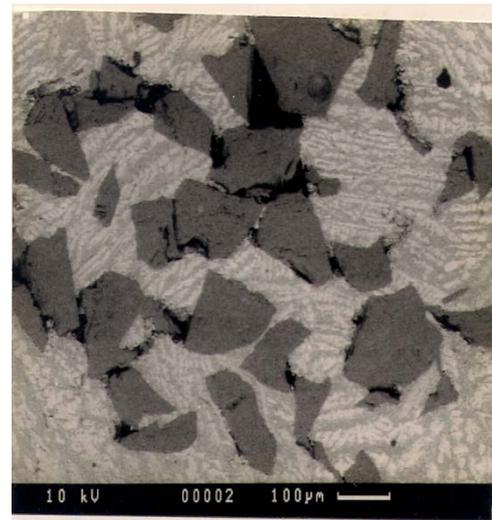
Struktur Antar Muka

Untuk mengkarakterisasi antar muka alumina/matriks maka permukaan dibuat takikan/patahan (*fracture*) yang selanjutnya dianalisis dengan menggunakan SEM. Gambar 16 memperlihatkan penampakan secara umum dari permukaan patahan di mana dua partikel alumina yang ditandai dengan A dan B jelas sekali terlihat diantara fasa matriks. Pada gambar ini terlihat adanya kekosongan atau kekurangan infiltrasi matriks diantara dua partikel. Hal ini dapat dilihat juga pada Gambar 14.

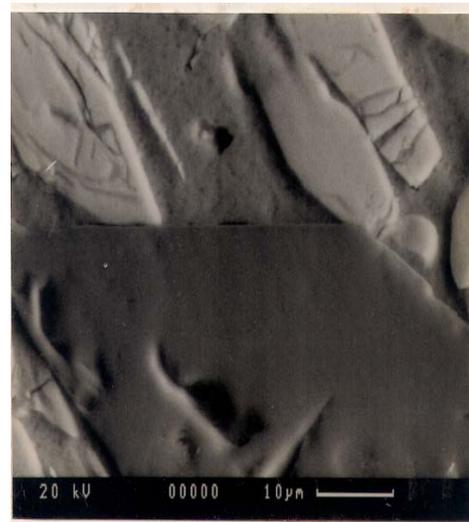
Selanjutnya dilakukan perbesaran untuk melihat lebih rinci lagi karakter antar muka seperti yang terlihat pada Gambar 17. Gambar 17 (a) diambil dari area partikel A menunjukkan ikatan fasa Al dengan partikel alumina. Terdapat goresan-goresan pada permukaan alumina. Sedangkan Gambar 17 (b) partikel yang bersudut (angular) adalah partikel Al_3Ni di dalam fasa Al dan terdapat goresan-goresan pada permukaannya. Adanya goresan itu pada Al_3Ni merupakan replika dari goresan partikel alumina, Gambar 17 (a), mengindikasikan bahwa terjadi pembasahan alumina oleh fasa Al_3Ni .

Pada analisis ini juga dilakukan identifikasi reaksi antar muka antara Al_3Ni dengan Al_2O_3 dengan cara memindai permukaannya dengan menggunakan X-ray EDS

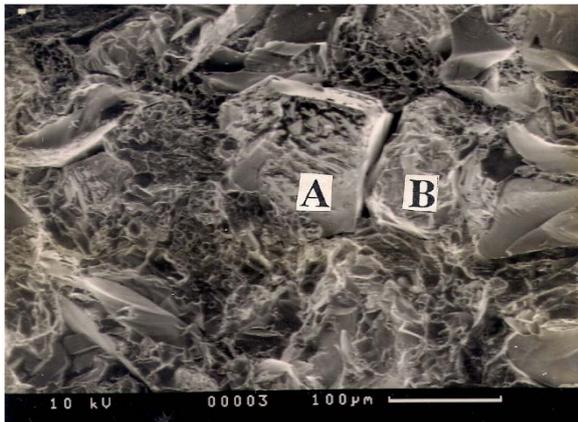
untuk mengetahui apakah ada kontaminasi unsur Ni. Hasilnya boleh dikatakan tidak ada unsur Ni pada permukaan Al_2O_3 partikel. Oleh karena itu dapat ditarik kesimpulan bahwa tidak terjadi reaksi difusi antar muka kedua elemen tersebut. Tetapi untuk antar muka fasa Al- Al_2O_3 , terdeteksi adanya unsur Al pada permukaan Al_2O_3 , yang berarti terjadi reaksi antar muka antara Al dan Al_2O_3 .



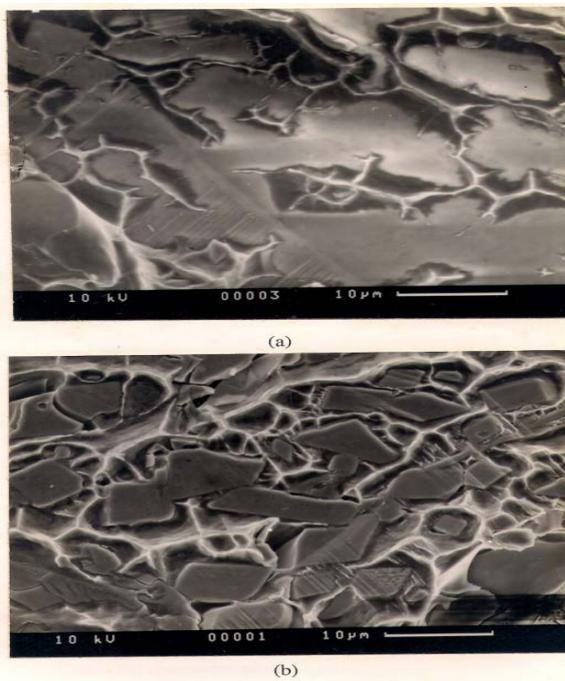
Gambar 14. Foto SEM (Backscattered) yang memperlihatkan Porositas karena Kurangnya Infiltrasi Logam Cair dengan Terjadinya Aglomerasi Partikel Alumina



Gambar 15. Foto SEM (Backscattered) yang memperlihatkan Karakteristik Antar Muka Alumina/Matrik (Fasa Putih Adalah Al_3Ni , Warna Lebih Gelap Fasa Al). Terjadi Retakan Rambut pada Fasa Al_3Ni .



Gambar 16. Foto SEM Permukaan Patahan dari Spesimen, Patahan Partikel Alumina Ditandai dengan Huruf A dan B dan Adanya Celah Diantara Dua Patahan Partikel Tersebut.



Gambar 17. (a) Perbesaran dari Gambar 16 pada Area A, Alumina di Dalam Fasa Al, juga Terdapat Goresan pada Permukaan Alumina. (b) Berhubungan dengan Patahan pada Foto (a), Permukaan Fasa Al_3Ni dan Goresan pada Permukaannya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil percobaan, maka didapat kesimpulan dan saran sebagai berikut :

1. Matriks Al, paduan Al-Mg dan paduan Al-Cu belum berhasil mengikat atau menangkap partikel alumina karena masalah mampu basa

(*wettability*) dari matriks-matriks tersebut terhadap partikel alumina. Masalah yang kedua adalah adanya perbedaan masa jenis antara alumina dan matriks logam cair sehingga terjadi pengendapan partikel alumina pada cetakan. Tujuan pematangan dengan logam Mg ataupun Cu adalah untuk memperbaiki sudut kontak, serta dilakukan pengadukan yang gunanya untuk pendistribusian dan penangkapan partikel ke seluruh matriks, namun kedua usaha ini belum mampu untuk membantu mengikat partikel-partikel alumina.

2. Matriks paduan Al-Ni menunjukkan bahwa sebagian partikel alumina telah terikat oleh matriks, walaupun terjadi ketidakmerataan partikel yang membentuk aglomerasi partikel di dalam matriksnya. Hasil pengamatan karakterisasi dengan menggunakan SEM, pengikatan partikel alumina terutama oleh partikel-partikel Al_3Ni (senyawa *intermetallic compound*) yang terjadi adanya efek pengadukan sehingga terjadi tumbukan antar kedua jenis partikel tersebut. Hal ini mengakibatkan terhalangnya pengendapan partikel alumina. Disamping itu terlihat adanya ikatan antara kedua jenis partikel, tetapi diduga daya ikatnya masih terlalu lemah, dengan kata lain pembasahan partikel alumina oleh Al_3Ni masih belum sempurna.
3. Dari kedua butir kesimpulan tersebut, maka untuk menyempurnakan studi ini disarankan:
 - a. Penelitian lebih lanjut dengan menambahkan unsur lainnya seperti Li guna memperbaiki sudut kontak paduan Al. Oleh sebab itu diperlukan juga penelitian tambahan mengenai sudut kontak logam cair paduan Al dengan memakai metoda *Sessile drop test*. Selain itu diperlukan juga pengamatan parameter lainnya yaitu mempelajari karakter solidifikasi paduan Al.
 - b. Menggunakan cara pengecoran lainnya yaitu pengecoran kompo atau *rheocasting* yang disarankan oleh beberapa literatur yang cocok untuk menangkap partikel secara mekanis. Adapun pengecoran peras dan invesmen juga disarankan, tetapi partikel alumina difabrikasi terlebih dahulu sebagai prabentuk.
 - c. Kemungkinan yang lain adalah mencoba dengan metoda metalurgi serbuk.

- d. Perlu studi fabrikasi komposit dengan menggunakan partikel atau serat lainnya seperti SiC, karbon atau boron.
 - e. Saran-saran tersebut memerlukan penambahan peralatan dengan cara merekayasa ulang peralatan yang sudah ada atau melakukan pengadaan peralatan baru.
4. Pada satu dekade terakhir banyak penelitian pembuatan komposit dengan teknologi nano karena dengan teknologi ini akan menghasilkan suatu material dengan sifat yang super atau jauh lebih tinggi dibandingkan dengan yang berukuran mikro.
5. Berdasarkan kajian dan saran tersebut, sebaiknya dilakukan penelitian sinergi antara Balai Besar yang ada di Bandung seperti BBLM, B4T dan BBK karena masing-masing Balai Besar mempunyai kemampuan dan fasilitas mesin peralatan serta sumber daya manusia yang saling melengkapi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Askeland, Donald R, and Phulé, Pradeep P., 2003, *The Science and Engineering of Materials*, 4th ed, Brooks/Cole-Thomson Learning, United Kingdom.
- [2] Foltz, John V, and Blackmon, Charles M, October 1990, *Metal Matrix Composites*, in : *Metals Handbook*, tenth edition, Vol. 2, ASM International, pp. 903-911.
- [3] Romine, James C, 1988, Continuous Aluminum Oxide Fiber MMCs, in : *Engineered Materials Handbook*, Vol. 1, ASM International, pp. 858-866.
- [4] Schoutens, Jacques E, 1989, Metal Matrix Composites, in : *Reference Book for Composite Technology*, Stuart M Lee (Ed.), Technomic Publishing Company Inc., Vol.1, pp.175-269.
- [5] Anonim, December 1991, Lighter Package Pulls More Power, *The Australian*, p. 15
- [6] Anthony, Kelly, 1989, An Introduction to Composite Materials, in *Concise Encyclopedia of Composite Materials*, Kelly Anthony (Ed.), first edition, Pergamon Press, pp. xvii-xxix, 3-15.
- [7] Anthony, Kelly, 1988, *Metal Matrix Composites – An Overview*, in : *Cast Reinforced Metal Composites*, S.G. Fishman and A.K. Dhingra (Eds.), Conference Proceeding, ASM International, 1988, pp. 1-5.
- [8] Rohatgi, Pradeep, 1990, *Metal Matrix Composites, Casting Process*, in : *International Encyclopedia of Composites*, Stuart M Lee (Ed.), VCH Publisher Inc., New York, Vol. 3, pp. 201-209.
- [9] Borgonovo, Cecilia, June 2010, *Aluminum Nano-composites for Elevated Temperature Applications*, A Thesis Submitted to the Faculty of the Worcester Polytechnic Institute, Worcester, USA.
- [10] _____, *Vacuum Diffusion Bonding*, Institute of Material & Machine Mechanics, Slovak Academy of Science.
- [11] _____, *Diffusion Bonding and Vacuum Hot Pressing*, Refrac System
- [12] _____, *Composite Material*, uOttawa, Arnauds Weck's Materials Fracture Group.
- [13] _____, June 2007, *Squeeze Casting Process: Part One*, Key to Metals.
- [14] _____, resource.npl.co.uk/m+data/phdiagrams/png/alni.png
- [15] Surappa, M.K, February/April 2003, *Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities*, *Sadhana* Vol.28, Parts1&2, , pp. 319–334. © Printed in India
- [16] Dobrzański L.A., Kremzer M., Nowak A.J., Nagel A., March 2009, *Aluminium matrix composites fabricated by infiltration method*, *Archives of Materials Science and Engineering*, Volume 36, Issue 1, , Pages 5-11.
- [17] Włodarczyk-Fligier A., Dobrzański L.A., Kremzer M., Adamiak M., March 2008, *Manufacturing of aluminium matrix composite materials reinforced by Al₂O₃ particles*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Vol. 27, Issue