

## PENGARUH SUHU PEMANASAN DAN WAKTU TAHAN TERHADAP KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT LOGAM AL/SiC HASIL INFILTRASI TANPA TEKANAN

A. Zulfia dan M. Ariati

Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: anne@metal.ui.ac.id or anne@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Pembuatan komposit matriks logam Al-SiC dapat dilakukan dengan metode infiltrasi tanpa tekanan (PRIMEX). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan ingot alumunium AC2B sebagai matrik dan 50% Vf serbuk SiC sebagai penguat yang dicampur dengan 10% wt Mg sebagai *wetting agent*. Waktu tahan dan suhu pemanasan pada penelitian ini divariasi untuk melihat pengaruh waktu tahan dan suhu pemanasan terhadap sifat mekanik dari komposit Al-SiC. Waktu tahan yang digunakan adalah 2, 5, 8, 10, dan 12 jam sedangkan suhu pemanasan yang digunakan 750, 800, 900, 1000, dan 1100°C. Komposit yang diperoleh dianalisa baik sifat mekanis seperti densitas, porositas, kekerasan, laju aus dan *metalography*. Lamanya waktu tahan dan meningkatnya suhu pemanasan menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik dari komposit logam Al/SiC tersebut, dan ditemukan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik adalah pada kondisi waktu tahan 10 jam dan suhu pemanasan 1000°C.

### Abstract

**Effect of Firing Temperature and Holding Time on Characterization of Al/SiC Metal Matrix Composites Produced by Pressureless Infiltration.** The production of Al-SiC metal matrix composite can be carried out by pressureless metal infiltration process (PRIMEX). The experiment was conducted using aluminium AC2B ingot as a matrix and 50%Vf SiC powder as a reinforcement which is mixed with 10% Mg powder for wetting agent. The variables of this experiment are holding time and firing temperature to investigate the effect of these conditions on mechanical properties of Al-SiC metal matrix composites. Holding time was conducted for 2,5,8,10,12 hours and firing temperatures was 750, 800, 900, 1000, 1100°C respectively.. The composites produced are analysed both mechanical properties and metalography such as densities, porosities, hardness, as well as wear rate. The results showed that the longer holding time and increasing firing temperature will increase mechanical properties of Al-SiC metal matrix composites, and it is found that the optimum mechanical properties at 1000°C for 10 hour.

*Keywords:* Al-SiC metal matrix composite, pressureless infiltration.

### 1. Pendahuluan

Salah satu jenis material maju yang sedang dikembangkan adalah komposit logam atau lebih dikenal dengan Komposit Matrik Logam (KML). Pemilihan logam sebagai matriks pada material komposit karena logam memiliki beberapa sifat mekanik yang baik, antara lain kekuatan, modulus elastisitas, ketangguhan, ketahanan impak, konduktivitas listrik dan panas yang tinggi.

Proses pembuatan Komposit Matrik Logam (KML) dapat dilakukan melalui berbagai metode dan yang berkembang saat ini adalah metode infiltrasi logam

tanpa tekanan atau *pressureless metal infiltration* (PRIMEX) [1]. Metode ini dikembangkan karena mempunyai keunggulan dibandingkan dengan proses lain seperti pengecoran ataupun proses metalurgi serbuk. Keunggulan tersebut yaitu prosesnya sederhana, peralatan tidak rumit, dan tidak memerlukan tekanan dari luar serta ekonomis,

Matrik logam yang biasanya digunakan dalam pembuatan material komposit dengan menggunakan proses ini antara lain logam alumunium, titanium, magnesium dan paduannya. Adapun pemilihan logam Al sebagai matrik dikarenakan logam ini memiliki berat jenis yang ringan sehingga dapat digunakan sebagai substitusi komponen otomotif yang bergerak. Pada

aplikasi ini material komposit dapat menghemat energi. Aplikasi komposit matrik logam dengan metode PRIMEX dalam komponen otomotif yang lain diantaranya adalah, *drive shafts, brake rotor, engine blocks, cylinder liner, connecting rod, piston, brake disk* dan *brake drum* [2-5]. Ada dua syarat yang harus dilakukan pada proses pembuatan komposit ini, yaitu harus terdapat kandungan magnesium di dalam aluminium dan kondisi atmosfer nitrogen dalam dapur. Semakin banyak gas nitrogen yang mengalir akan semakin membantu kinerja magnesium untuk membasahi dan akhirnya memudahkan aluminium untuk terinfiltasi [6-8].

Agar adhesi terjadi selama fabrikasi komposit, maka penguat dan matrik dalam keadaan kontak yang kuat. Pada sejumlah tahap fabrikasi komposit, seringkali matrik berada dalam kondisi dimana matrik mampu mengalir (*flowing*) dan perlakunya mendekati perilaku cairan. Kata kunci dalam konteks ini adalah kemampuan pembasahan. Kemampuan pembasahan menetapkan tingkat di mana cairan akan menyebar pada permukaan padat. Kemampuan pembasahan yang baik berarti bahwa cairan (matrik) akan mengalir pada penguat dan menutupi setiap ‘benjolan’ dan ‘cekungan’ pada permukaan kasar penguat. Pembasahan hanya akan terjadi jika viskositas matrik tidak terlalu tinggi dan jika terjadi pembasahan mengakibatkan penurunan energi bebas sistem [6]. Derajat gaya adhesi antara penguat dengan matrik tersebut seringkali dikendalikan oleh adanya tegangan permukaan. Derajat pembasahan yang tinggi antara penguat dan matriknya akan menimbulkan ikatan yang kuat. Suhu mempengaruhi kinetika infiltrasi dan infiltrasi penuh (*full infiltration*) pada material Al-5Si-10Mg terjadi pada suhu 800°C, tetapi pada 700°C hanya terjadi sebagian [1].

Proses infiltrasi berhubungan dengan waktu tahan selama proses, hal ini berkaitan dengan kinetika reaksi pada sistem keramik – logam. Waktu tahan yang lebih lama dengan parameter proses yang sama akan memberikan kinetika infiltrasi yang lebih besar [9-10].

Pada sistem yang memiliki reaktivitas tinggi maka reaksi bidang pisah logam-keramik berjalan dengan cepat setelah terjadi kontak fisik antara fasa padat dan cair. Sedangkan untuk sistem yang kurang reaktif kemampuan pembasahan antara logam dengan keramik pada umumnya sangat buruk. Sehingga diperlukan lebih banyak waktu untuk mencapai pembasahan. Penguraian lapisan oksida pada fasa keramik merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kinetika pembasahan [11]. Hal ini dikarenakan dengan penguraian lapisan tipis oksida pada permukaan keramik dan perubahan lapisan oksida pada permukaan logam cair akan menurunkan energi bidang pisah [11-13]. Logam cair akan memulai infiltrasi ketika energi bidang pisah padat cair berkurang.

## 2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ingot aluminium AC2B dengan komposisi di Tabel 1, dengan ukuran 3x3x1cm. Berat serbuk SiC yang ditimbang adalah sebanyak 50% fraksi volume dan serbuk magnesium seberat 10 % berat Al. Kedua serbuk tadi dicampur hingga merata.

Potongan Al dan campuran serbuk SiC ditaruh dalam suatu wadah / *tray* yang terbuat dari keramik. *Tray* yang sudah siap untuk diproses, di dalamnya terdapat alumina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (sebagai barier), campuran serbuk SiC dengan Mg diletakkan di dalam *tray* dan di atasnya potongan Al seperti terlihat pada Gambar 1. Proses PRIMEX dalam *tube furnace* divariasi menjadi dua variabel yaitu suhu (750, 800, 900, 1000, dan 1100°C) dan waktu tahan (2, 5, 8, 10, 12 jam). Setelah proses pemanasan, *tray* dibiarkan stabil di dalam dapur *tube* (*tube furnace*) hingga suhu kamar, lalu produk komposit Al/SiC dilakukan karakterisasi antara lain pengujian densitas, porositas, kekerasan, laju aus, pengujian metalografi dan XRD (*X-Ray Diffraction*).

**Tabel 1. Komposisi Ingot Aluminium AC2B (ASTM A319)**

Komposisi Kimia	(% wt)
Cu	3,0-4,0
Mg	0,10 max
Mn	0,50 max
Si	5,5-6,5
Fe	1,0 max
Zn	1,0 max
Ti	0,25 max
Ni	0,35 max
other	0,50 max



**Gambar 1. Sampel yang siap di panaskan**

### 3. Hasil dan Pembahasan

Karakterisasi dari komposit marik logam Al/SiC yang diperoleh dari proses infiltrasi tanpa tekanan untuk setiap variabel proses infiltrasi, meliputi pegujian porositas, densitas, kekerasan dan ketahanan aus, hasilnya dirangkum dalam Gambar 2 sampai Gambar 6 untuk setiap variabel proses.

Nilai densitas semakin naik seiring dengan naiknya suhu sedangkan nilai porositas semakin turun. Kenaikan densitas disebabkan karena *gain* reaksi produk semakin bertambah seiring naiknya suhu. Mampu alir leburan aluminium semakin baik pada suhu yang yang lebih tinggi sehingga aluminium mampu melewati kanal (*channel*) dan masuk ke dalam celah-celah antar partikel SiC. Meningkatnya suhu maka semakin baik pula mampu basah antar muka logam dengan keramik dan meningkatnya mampu alir aluminium cair, sehingga densitas komposit Al-SiC juga terus meningkat.

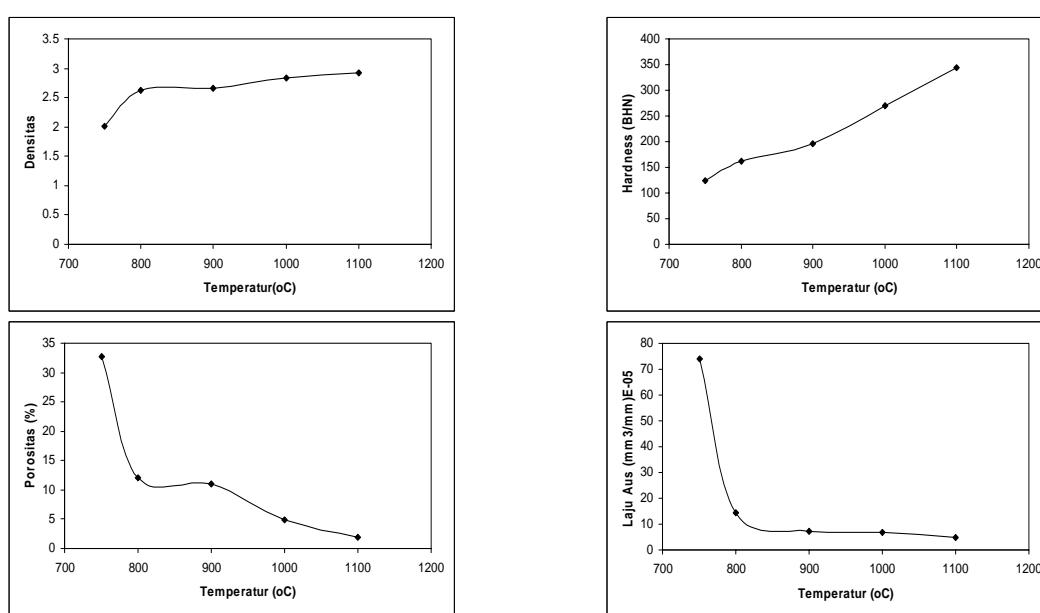
Lain halnya dengan porositas yang terus menurun seiring naiknya suhu. Peristiwa ini memang sesuai dengan hubungan antara densitas dan porositas yang berbanding terbalik seperti terlihat pada Gambar 2. Pori dalam komposit Al-SiC dapat timbul karena celah antar partikel SiC tidak terisi oleh leburan aluminium dan adanya aliran gas nitrogen yang terlalu deras dapat menimbulkan pori. Seperti telah disebut terdahulu bahwa naiknya suhu menyebabkan mampu basah logam dengan keramik dan mampu alir leburan aluminium

semakin baik, maka pori yang ada terisi oleh aluminium cair dan oleh reaksi produk yang terbentuk.

Kekerasan yang diperoleh dari pengujian menunjukkan peningkatan seiring meningkatnya suhu, kekerasan terendah adalah 124 BHN sedangkan kekerasan tertinggi 440 BHN. Peningkatan nilai kekerasan meningkat signifikan pada range suhu 1000°C-1100°C yaitu dari 245 BHN menjadi 440 BHN.

Sifat kekerasan pada umumnya merupakan fungsi dari kekuatan ikatan logam aluminium dengan keramik silikon karbida [10-11]. Material dengan densitas yang tinggi memiliki kekerasan yang cenderung meningkat karena adanya ikatan antar partikel dari proses pembasahan. Kekerasan material juga dipengaruhi oleh reaksi produk yang terbentuk seperti fasa AlN dan Mg<sub>2</sub>Si, yang dapat meningkatkan kekerasan [14], sedangkan laju aus terus menurun ketika temperatur terus dinaikkan dari 750°C hingga 1100°C. Penurunan laju aus paling drastis terjadi pada temperatur 750°C - 800°C yaitu dari  $7,39 \times 10^{-4}$  mm<sup>3</sup>/mm menjadi  $1,46 \times 10^{-4}$  mm<sup>3</sup>/mm. Pada suhu 1100°C komposit Al-SiC memiliki ketahanan aus yang paling rendah yaitu  $4,99 \times 10^{-5}$  mm<sup>3</sup>/mm.

Pada temperatur yang tinggi diperoleh semakin banyaknya kandungan material penguat keramik SiC yang terinfiltasi oleh leburan Al sehingga kekerasan meningkat dan laju aus menurun. Oleh karena itu



Gambar 2. Sifat mekanis komposit logam Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan pada suhu pemanasan yang berbeda selama 10 jam

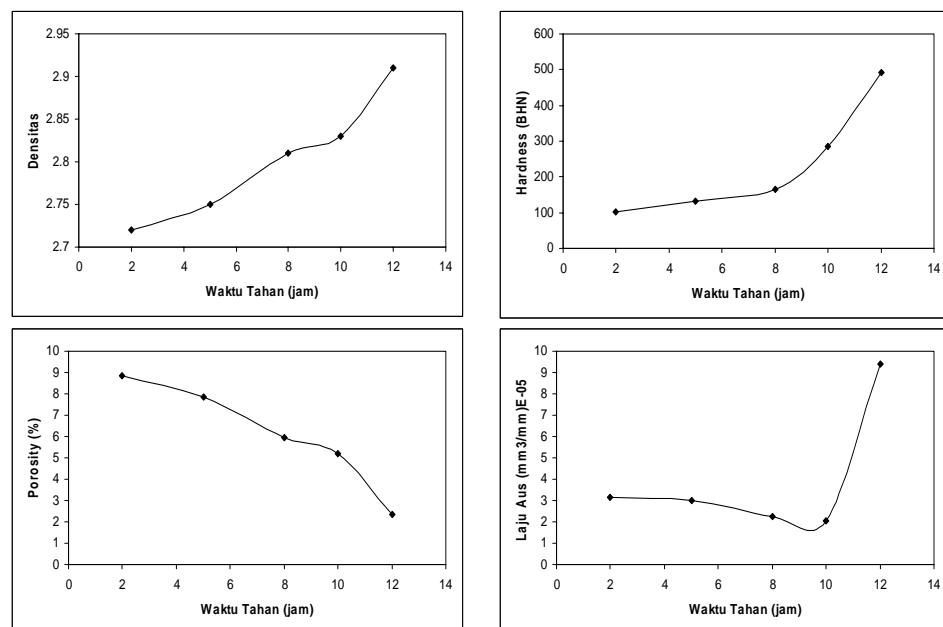
terdapat hubungan yang terbalik antara keausan dan kekerasan. Nilai laju aus semakin kecil sedangkan nilai kekerasan semakin besar ketika temperatur *firing* semakin baik. Menurut pendapat Rigney [15], faktor utama yang mempengaruhi ketahanan aus logam adalah kekerasan permukaannya terutama pada keausan adhesif dan abrasif, dimana pada kekerasan yang tinggi laju keausan adhesif maupun abrasif rendah.

Densitas dari material komposit yang terbentuk ditunjukkan oleh Gambar 3. Terlihat bahwa densitas yang terbentuk semakin meningkat dengan semakin lama waktu tahan yang diaplikasikan pada proses PRIMEX. Pada percobaan yang dilakukan, semakin lama waktu tahan maka proses infiltrasi akan berjalan dengan semakin baik. Hal ini mengakibatkan jumlah SiC yang bereaksi akan semakin banyak dan meningkatkan densitas material yang terbentuk. Karena material yang terbentuk memiliki densitas yang semakin tinggi maka porositas dari material tersebut akan semakin sedikit. Dari percobaan yang dilakukan porositas terbesar didapat pada waktu tahan 2 jam yaitu 8,87% dan porositas terkecil didapat pada waktu tahan 12 jam yaitu 2,34%. Dari grafik terlihat pula bahwa semakin lama waktu tahan pada proses maka porositas dari material komposit yang terbentuk akan semakin menurun. Hal ini disebabkan banyaknya leburan Al yang terinfiltasi didalam pori-pori prabentuk partikel keramik SiC.

Kekerasan dari material komposit yang terbentuk ditunjukkan pada Gambar 3. Gambar tersebut

memperlihatkan bahwa semakin lama waktu tahan akan meningkatkan kekerasan material komposit yang terbentuk. Peningkatan kekerasan ini dapat dijelaskan karena semakin lama waktu tahan maka proses infiltrasi akan berlangsung semakin baik. Dengan proses infiltrasi yang semakin baik maka jumlah SiC yang bereaksi akan semakin banyak. Seperti diketahui SiC merupakan penguat yang ditambahkan pada proses untuk meningkatkan kekerasan. Kekerasan tersebut didapat karena persebaran SiC dalam matrik alumunium semakin banyak. Dari percobaan yang dilakukan kekerasan terendah didapat pada waktu tahan 2 jam yaitu 101 BHN dan kekerasan tertinggi didapat pada waktu tahan 12 jam yaitu 491 BHN. Terlihat hubungan yang terbalik antara nilai densitas dengan nilai porositas produk komposit Al-SiC. Nilai densitas semakin naik seiring dengan naiknya temperatur sedangkan nilai porositas semakin turun.

Laju aus pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa semakin lama waktu tahan maka laju aus dari material komposit akan semakin menurun artinya material semakin tahan aus. Waktu tahan yang semakin lama akan meningkatkan jumlah SiC yang bereaksi karena peningkatan waktu tahan dapat menurunkan energi bidang pisah antara matrik Al dengan SiC sehingga proses infiltrasi berlangsung lebih baik. Dengan semakin banyaknya persebaran SiC maka kekerasan dari material komposit yang terbentuk semakin tinggi dan laju ausnya semakin



Gambar 3. Sifat mekanis komposit logam Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan pada suhu pemanasan 1000 °C selama waktu tahan berbeda

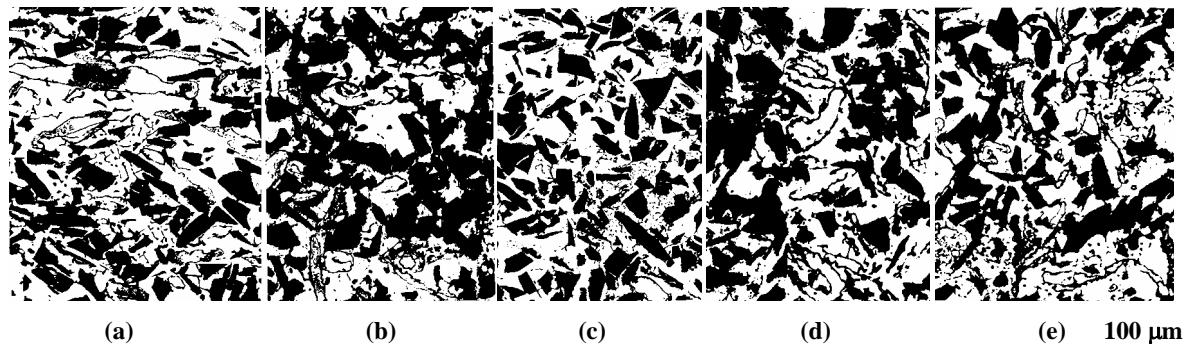
rendah Pengujian keausan perlu dilakukan pada beberapa daerah karena persebaran SiC yang pada daerah atas dan bawah prabentuk berbeda dimana persebaran SiC di bawah prabentuk lebih banyak. Dari percobaan di atas diketahui bahwa laju aus tertinggi didapat pada waktu tahan 2 jam yaitu  $3.14 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm dan laju aus terendah didapat pada waktu tahan 12 jam yaitu  $9.39 \times 10^{-7}$  mm<sup>3</sup>/mm.

Pada Gambar 4 diperlihatkan struktur mikro komposit Al/SiC<sub>p</sub>. Gambar tersebut menampilkan persebaran partikel SiC yang cenderung random merata didalam matrix aluminium untuk setiap kenaikan suhu.

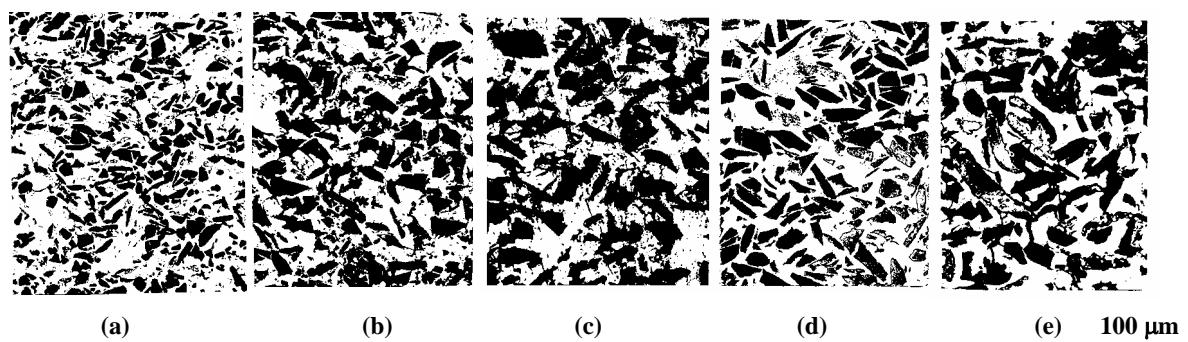
Analisa metalografi dengan mikroskop optik (Gambar 4 dan 5) menunjukkan bahwa mikrostruktur dari komposit logam Al/SiC memperlihatkan persebaran SiC(gelap) yang random didalam matrix A (terang), persebaran partikel SiC lebih banyak dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan jumlah partikel yang terinfiltasi meningkat dengan naiknya temperatur, begitu juga fase yang terbentuk didalam matrix Al terlihat pada

temperatur proses atau temperature *firing* yang lebih tinggi.

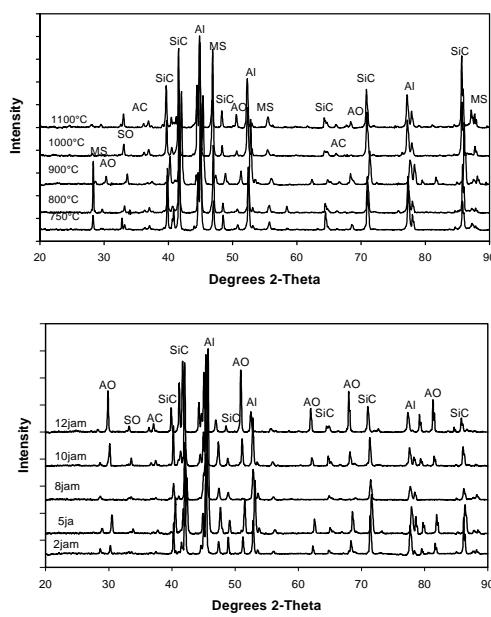
Dari struktur mikro di atas terlihat bahwa persebaran SiC pada daerah atas prabentuk lebih sedikit daripada di daerah bawah prabentuk. Hal ini disebabkan pada saat proses infiltrasi SiC terletak di bagian bawah dari sampel sehingga persebaran SiC lebih banyak pada daerah bawah prabentuk. Persebaran SiC pada material komposit yang terbentuk juga dipengaruhi oleh waktu tahan. Karena semakin lama waktu tahan yang diaplikasikan pada proses infiltrasi tanpa tekanan maka proses infiltrasi akan semakin baik. Hal ini berhubungan dengan kinetika proses dimana peningkatan waktu tahan akan menurunkan energi bidang pisah antara logam Al dengan SiC, karena energi bidang pisah lebih rendah maka proses pembasahan SiC oleh matrik Al menjadi lebih bagus sehingga proses infiltrasi berlangsung lebih baik dan jumlah SiC yang bereaksi semakin banyak. Hal ini dapat terlihat pada struktur mikro yang menunjukkan adanya peningkatan jumlah persebaran SiC pada material komposit yang terbentuk dengan adanya peningkatan waktu tahan.



Gambar 4. Mikrostruktur dari komposit logam Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan pada suhu berbeda selama 10 jam (a=750°C; b=800°C; c=900°C; d=1000°C; e=1100°C)



Gambar 5. Mikrostruktur dari komposit logam Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan pada temperature 1000°C dengan waktu tahan yang berbeda (a=2 jam; b=5 jam; c=8jam; d=10 jam; e=12 jam)



**Gambar 6.** Pola difraksi sinar X dari komposit logam Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan, puncak intensitas adalah hasil reaksi produk komposit selama proses pemanasan (Kode menunjukkan pesenyawaan yang terbentuk: MS=  $Mg_2Si$ , AO=  $Al_2O_3$  , SO=  $Si/SiO_2$ , AC=  $Al_3C_4$ )

Untuk mengetahui fase-fase yang terbentuk selama proses pemanasan pada pembuatan komposit logam Al/SiC maka dilakukan analisis sinar X. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 6. Variabel proses pembuatan komposit logam ini menghasilkan reaksi produk yang hampir sama untuk setiap komposit yang dihasilkan meskipun puncak intensitas yang berbeda tetapi menunjukkan senyawa yang sama untuk setiap variabel proses. Senyawa-senyawa yang dihasilkan adalah Al, bagian yang memiliki puncak intensitas yang tinggi adalah logam Al sebagai matrix, sedangkan puncak-puncak intensitas yang lain adalah hasil reaksi produk selama proses pembentukan komposit logam Al/SiC seperti  $Mg_2Si$ ,  $Al_3C_4$  dan  $Al_2O_3$ . Fase-fase ini akan mempengaruhi terhadap sifat mekanik dari komposit tersebut.

#### 4. Kesimpulan

Lamanya waktu tahan dan naiknya suhu proses akan meningkatkan nilai densitas komposit yang dihasilkan. Porositas akan semakin menurun seiring dengan lamanya, waktu tahan dan naiknya suhu proses. Kedalaman infiltrasi akan semakin dalam dengan

lamanya waktu tahan dan suhu proses. Kekerasan akan semakin meningkat seiring lamanya, waktu tahan dan naiknya suhu proses. Lamanya waktu tahan dan naiknya suhu proses akan semakin menurunkan laju aus komposit yang dihasilkan, sehingga material sulit terabrasi.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM-UI yang telah memberikan dana dalam bentuk Riset Unggulan UI pada tahun Anggaran 2004-2005, serta para mahasiswa Metalurgi Sdri Anita I, Sdr. Aris K dan Sdr. Jimi yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini sebagai topik Tugas Akhirnya.

#### Daftar Acuan

- [1] M. K. Aghajanian, M. A. Rocazella, J. T. Burke S. D. Keck, *J. Mater. Sci.*, 26 (1991) 447.
- [2] [http://www.mitsubishimotors.com/corporate/about\\_us/technology/review/e/pdf/2003/15E\\_06.pdf](http://www.mitsubishimotors.com/corporate/about_us/technology/review/e/pdf/2003/15E_06.pdf), 2005.
- [3] [http://www.corusautomotive.com/file\\_source/automotive/Publications/Connecting\\_Rods.pdf](http://www.corusautomotive.com/file_source/automotive/Publications/Connecting_Rods.pdf), 2005.
- [4] <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=501>, 2005
- [5] E.Allison.John, S. Cole. Gerald, Metal Matrix Composites in the Automotive Industry: *J. Opportunities and Challenges* 24 (1993) 1.
- [6] M. K. Aghajanian, R. A. Langensiapen, M. A. Rocazella, J. T. Leighton, C. A. Anderson, *J. Mater. Sci.* 28 (1993) 6683.
- [7] A. Zulfia, R. J. Hand, *Journal of Materials Science* 37 (2002) 955.
- [8] A. Zulfia, R. J. Hand, *Materials Science and Technology* 16 (2000) 867.
- [9] W. D. Callister, *Materials Science and Engineering: an Introduction*, 6th ed., John Wiley & Sons Inc., India, 2004.
- [10] R. K. Perdana, Skripsi Sarjana, Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2002.
- [11] S.Y. Oh, J. A. Cornie dkk, *Proceeding Ceramic Engineering Science* 8 (1987) 912.
- [12] D.G. Clarck, J.A Little, *Ceramic/Metal Wetting in a Spontaneous Infiltration Process for Fabrication of Metal Matrix Composite*, 1993.
- [13] S. Y. Oh, *Metallurgical Transaction* 20A (1989) 533.
- [14] S. M. Prekart, *Acta Metall Mater.* 40 (1992) 177.
- [15] A. D. Rigney, *Metal Handbook Volume 1: Wear Resistant*, ASM, Ohio, 1978.