

Pengaruh Suhu Pemanasan Dan Waktu Tahan Terhadap Karakteristik Komposit Matriks Keramik SiC/Al Produk *Directed Metal Oxidation* (DIMOX)

Anne Zulfia dan Isabella Fiona

Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok 16424

Email : anne@metal.ui.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses pembuatan CMCs (*Ceramic Matrix Composites* / Komposit matriks keramik) SiC/Al melalui proses DIMOX (*Directed Metal Oxidation*) dan mempelajari pengaruh suhu pemanasan dan waktu tahan terhadap karakteristik produk CMCs yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan variasi suhu pemanasan dan waktu tahan, dimana digunakan suhu pemanasan 900°C, 1100°C, dan 1300°C dengan waktu tahan selama 10 dan 20 jam untuk setiap suhunya. Karakterisasi terhadap produk komposit yang dihasilkan dilakukan melalui pengujian densitas dan porositas, pengujian kekerasan mikro, pengamatan struktur mikro dan pengujian komposisi kimia.

Hasil penelitian menunjukkan infiltrasi prabentuk SiC oleh leburan Al dapat terjadi secara optimum pada suhu pemanasan 1100°C dengan waktu tahan 20 jam. Produk CMCs dengan densitas tertinggi, sebesar 3,54 gram/cm³, diperoleh pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1100°C dengan waktu tahan 20 jam. Porositas produk CMCs cenderung meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemanasan. Produk CMCs dengan kekerasan mikro tertinggi, sebesar 1820 VHN, diperoleh pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1300°C dengan waktu tahan 10 jam. Pada suhu pemanasan yang sama, kekerasan mikro produk CMCs dengan waktu tahan 20 jam cenderung lebih rendah dibandingkan dengan produk CMCs dengan waktu tahan 10 jam. Partikel SiC terdistribusi cukup merata pada produk CMCs SiC/Al. Produk CMCs daerah di sekitar partikel SiC dapat ditemui adanya Al, spinel (MgAl₂O₄), Al₂O₃ dan kemungkinan Mg₂Si.

Kata Kunci : Proses DIMOX, CMCs SiC/Al, suhu pembakaran dan waktu tahan

Abstract

This research is to study the effects of firing temperature and holding time on characteristics of *Directed Metal Oxidation* (DIMOX) *Ceramic Matrix Composites* (CMCs) SiC / Al product. In this research, the firing temperature and holding time used are varied from 900°C to 1300°C with holding time 10 and 20 hours for each temperature. The characterizations of composite products are examined such as density and porosity test, micro hardness test, microstructure examination and chemical composition test.

The results show that SiC preform has been infiltrated by Al liquid at firing temperature of 1100°C for 20 hours. Composite product with the highest density (3,54 gram / cm³) can be obtained at firing temperature of 1100°C for 20 hours. Porosity tends to increase with increasing firing temperature. Composite product with highest micro hardness (1820 VHN) can be obtained at firing temperature of 1300°C for 10 hours. At the same firing temperature, composite at products micro hardness for 20 hours lower than composite product with holding time 10 hours. Distribution of SiC particles spread over quite uniform on SiC/Al composites product. Around SiC particles can be found Al, spinel (MgAl₂O₄), Al₂O₃ and possibility Mg₂Si.

Keywords : DIMOX process, SiC/Al composites, firing temperature and holding time

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi modern sering membutuhkan material dengan kombinasi

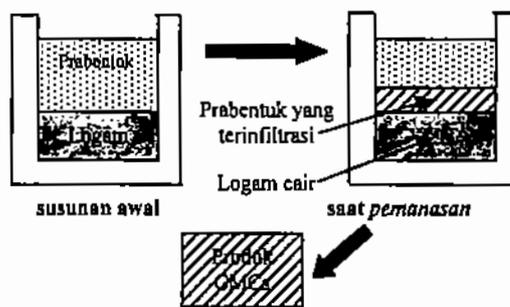
sifat – sifat yang tidak biasa yang dapat dicapai dengan mengembangkan material komposit. CMCs (*Ceramic Matrix Composites* / Komposit matriks keramik)

merupakan salah satu jenis komposit yang banyak dikembangkan untuk ditingkatkan ketangguhannya karena matriks keramik yang sangat getas (*brittle*) sehingga mudah mengalami perpatahan [1]. Salah satu metode untuk pembentukan CMCs yang sedang berkembang adalah proses DIMOX (*Directed Metal Oxidation*). Proses ini banyak digunakan untuk aplikasi industri dan ruang angkasa [2]. Aluminium merupakan logam komersial yang ulet dan SiC merupakan keramik yang memiliki kekerasan yang sangat tinggi. Penggabungan keduanya menjadi suatu produk CMCs dengan metode DIMOX termasuk masih sangat jarang dilakukan, sehingga karakteristik dari kombinasi kedua material ini masih banyak belum diketahui. Untuk membantu proses pembasahan (infiltrasi) prabentuk SiC oleh logam aluminium maka diberikan *dopant* (pengotor) berupa logam magnesium dengan komposisi tertentu.

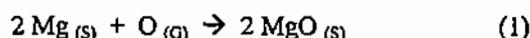
2. Dasar Teori

Proses DIMOX merupakan salah satu proses untuk membentuk CMCs dengan cara mengoksidasi leburan logam. CMCs terbentuk melalui infiltrasi logam cair ke prabentuk yang diletakkan di atas permukaan logam karena adanya gaya kapiler [1]. Proses ini banyak digunakan untuk memproduksi CMCs, alumina dan silikon karbida. CMCs yang diproduksi dengan metode ini dapat memiliki sifat yang beragam sesuai dengan kondisi proses dan *dopant* yang digunakan [3].

Mekanisme pembentukan CMCs SiC/Al sangat ditentukan oleh proses pembasahan SiC oleh leburan Al. *Spinel*, $MgAl_2O_4$, merupakan senyawa *interphase* yang sangat mempengaruhi proses pembasahan SiC oleh leburan Al. Proses infiltrasi prabentuk SiC oleh leburan aluminium sangat dipengaruhi oleh kehadiran *spinel* pada *interface* sistem. Proses pembentukan *spinel* memerlukan kehadiran Mg pada sistem. Berdasarkan diagram Ellingham dapat diketahui bahwa secara termodinamika magnesium merupakan logam yang sangat reaktif.



Gambar 1. Skematis Proses DIMOX.

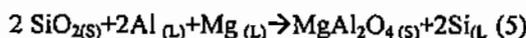
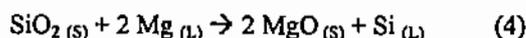
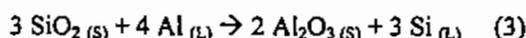


Haginoya [3] memperlihatkan bahwa pada tahap awal oksidasi paduan Al-Mg, jumlah magnesia (MgO) yang terbentuk akan meningkat lalu turun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan jumlah MgO (Mg) akan menyebabkan penambahan jumlah *spinel*.

Ketika SiC terekspos oleh udara maka pada permukaan SiC akan terbentuk lapisan SiO_2 [4]. Penelitian oleh Nagelberg [5] memperlihatkan bahwa kehadiran SiO_2 dapat mempengaruhi proses pertumbuhan Al_2O_3 .



Awal terbentuknya *spinel*, *spinel* yang dihasilkan untuk selanjutnya disebut sebagai α -*spinel* (reaksi pembentukannya memerlukan SiO_2), pada *interface* sistem menurut Ribes dkk [4] kemungkinan dapat terjadi melalui berbagai reaksi berikut:

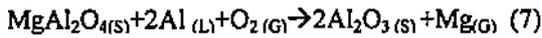


Reaksi 5 memperlihatkan bahwa reaksi tersebut akan langsung menghasilkan α -*spinel*. Ketika reaksi 3 dan 4 lebih cenderung untuk terjadi dibandingkan reaksi 5 maka α -*spinel* juga dapat terbentuk melalui reaksi berikut [4]:

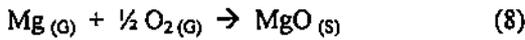


Lapisan *spinel* bersifat non - protektif karenanya mudah dibasahi oleh leburan Al sehingga memungkinkan terjadinya infiltrasi Al. Menurut X.Gu dkk[3] reaksi

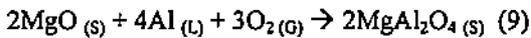
antara *spinel* dengan leburan Al akan menghasilkan Al_2O_3 .



Mg yang dihasilkan dari reaksi di atas akan bereaksi dengan oksigen membentuk MgO.



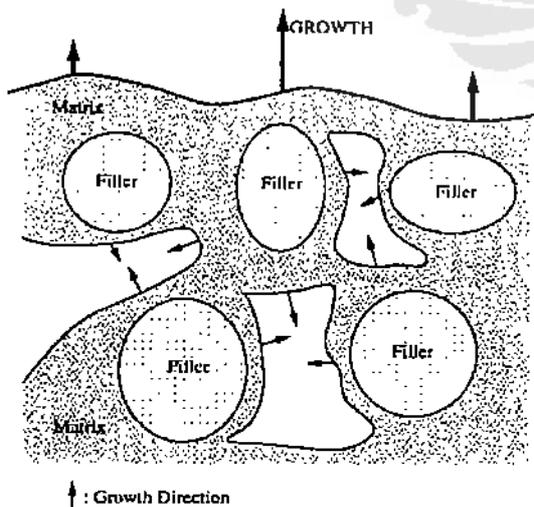
MgO yang dihasilkan dari reaksi di atas kemudian akan bereaksi dengan leburan Al untuk kemudian membentuk *spinel* baru.



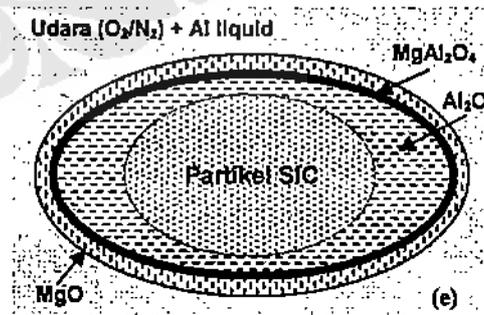
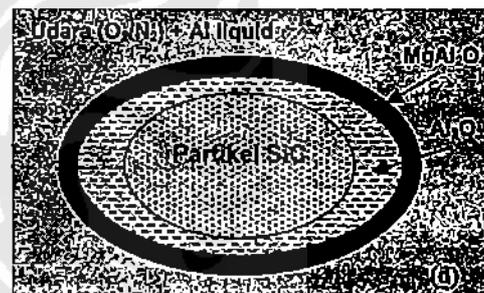
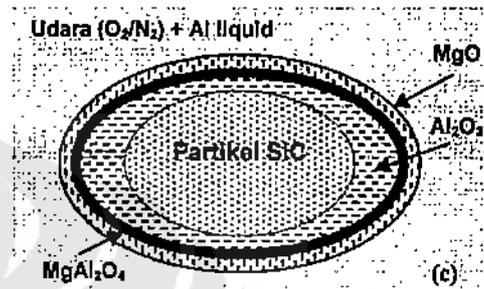
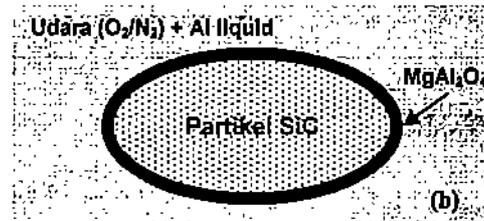
Setelah terbentuknya *spinel* maka untuk selanjutnya reaksi kimia yang terjadi pada sistem akan mengikuti suatu siklus reaksi seperti yang diusulkan oleh X.Gu dkk [3] (lihat Gambar 3)

Terbentuknya α - *spinel* pada interface sistem SiC/Al sangat dipengaruhi oleh kehadiran senyawa SiO_2 pada permukaan SiC [4]. Jumlah SiO_2 pada permukaan SiC akan sangat menentukan banyaknya *spinel* yang terbentuk, dimana kemudian *spinel* ini akan mempengaruhi proses infiltrasi SiC oleh leburan Al.

Pada reaksi 7 daerah kaya leburan Al akan melarutkan Mg dari *spinel* sehingga terjadi nukleasi Al_2O_3 . Al_2O_3 hasil reaksi akan menyebabkan terjadinya pengkapsulan SiC [3].



Gambar 2. Skematis Mekanisme Pertumbuhan Komposit Dengan Penguat [3].

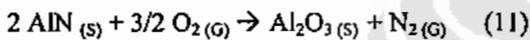


Gambar 3. Skematis Tahapan Pengkapsulan SiC Pada Proses DIMOX SiC/Al (Waktu Meningkat Dari (a) – (e)) [3,4].

Reaksi dalam fasa gas antara Mg dan oksigen dapat menyebabkan deposisi MgO pada permukaan SiC. Reaksi antara MgO dengan Al_2O_3 yang melapisi SiC akan

menghasilkan *spinel*. Leburan Al kemudian akan bereaksi dengan *spinel* untuk kemudian menghasilkan Al_2O_3 , pada reaksi pembentukan Al_2O_3 ini akan terjadi pelepasan Mg. Reaksi ini dapat terus berlangsung di sekitar SiC dalam suatu siklus, menyebabkan terjadinya pengkapsulan SiC [3].

Siklus reaksi di sekitar SiC menyebabkan lingkungan sekitar partikel SiC mengalami kekurangan oksigen. Hal ini terutama terjadi pada SiC yang letaknya paling jauh dari reaksi utamanya (*main reaction front*). Proses pengkapsulan SiC pada daerah yang kekurangan oksigen akan mengikuti mekanisme yang berbeda dari mekanisme sebelumnya. Leburan Al akan bereaksi dengan nitrogen membentuk AlN di antara SiC. AlN yang bereaksi dengan oksigen akan menghasilkan Al_2O_3 [3].

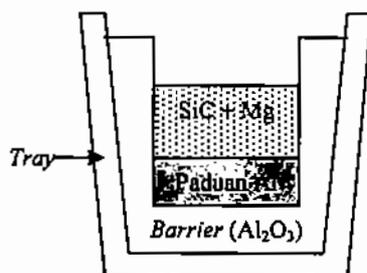


3. Metode Penelitian

Persiapan bahan baku untuk penelitian pertama-tama dilakukan dengan memotong blok paduan Al menjadi ukuran 3 x 3 x 1,5 cm. Setelah itu dilakukan pencampuran terhadap serbuk SiC dan Mg dengan komposisi tertentu. Bahan baku yang telah dipersiapkan ini selanjutnya disusun dalam wadah (*tray*). (lihat Gambar 4)

Tabel 1.
Komposisi Kimia Paduan Al (% Berat).

Al	Si	Cu	Mg	Zn	Fe	LOI
86,3	9,91	1,56	0,23	0,405	1,01	-



Gambar 4.
Susunan Bahan Baku Di Dalam Wadah (*Tray*).

Wadah atau *tray* ini selanjutnya dimasukkan ke dalam dapur Carbolite untuk dilakukan proses pemanasan dengan parameter suhu pemanasan 900°C, 1100°C, dan 1300°C dengan waktu tahan 10 dan 20 jam dengan laju kenaikan temperatur 10°C / menit. Setelah tercapai waktu tahan, wadah didinginkan dalam dapur sampai tercapai suhu ruang. Setelah itu dilakukan pembongkaran untuk mengeluarkan produk komposit.



Gambar 5.
Contoh Produk Komposit Yang Dihasilkan.

Pengujian yang dilakukan pada produk komposit meliputi pengukuran pertambahan berat produk komposit, pengujian densitas dan porositas, pengujian kekerasan mikro, pengamatan struktur mikro dan pengujian komposisi kimia.

Pengukuran pertambahan berat produk komposit dihitung dengan menimbang berat benda uji setelah proses dikurangi dengan berat blok paduan Al sebelum proses. Pertambahan berat pada produk komposit menunjukkan banyaknya leburan Al yang dapat menginfiltrasi partikel SiC dengan bantuan *dopant* Mg.

Pengujian densitas dan porositas produk komposit dilakukan sesuai standar ASTM C373 – 88. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan prinsip archimedes dengan media air.

Pengujian kekerasan mikro produk komposit dilakukan dengan menggunakan metode Vickers. Pengujian ini dilakukan sesuai standar ASTM E384 dengan beban 1000 gr dan waktu penjejakan selama 15 detik. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap benda uji.

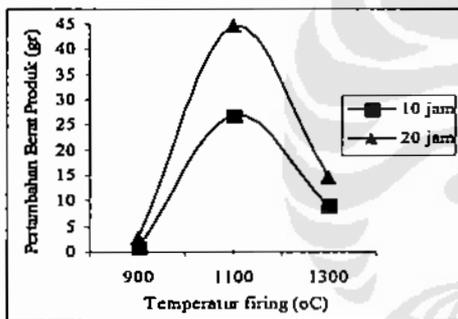
Pengamatan struktur mikro produk komposit dilakukan dengan menggunakan

SEM maupun mikroskop optik. Selain itu juga dilakukan pengujian komposisi kimia dengan menggunakan EDS.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Pertambahan Berat Produk Komposit SiC/Al

Kedalaman infiltrasi Al ke prabentuk SiC akibat adanya gaya kapilaritas leburan Al bervariasi dengan berubahnya suhu pemanasan dan waktu tahan. Peningkatan suhu pemanasan tidak selalu meningkatkan kedalaman infiltrasi. Akan tetapi semakin lama waktu tahan maka kedalaman infiltrasi Al untuk suhu pemanasan yang sama akan mengalami peningkatan. Kedalaman infiltrasi maksimal diperoleh pada suhu pemanasan 1100°C dengan waktu tahan 20 jam.



Gambar 6.

Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Pertambahan Berat Produk Komposit Yang Terbentuk.

Proses pembasahan melibatkan proses pembentukan lapisan *interfacial*. Proses pembentukan lapisan ini sangat dipengaruhi oleh suhu. pemanasan Persamaan Arrhenius menunjukkan bahwa dengan semakin tingginya suhu pemanasan maka proses difusi akan semakin cepat terjadi.

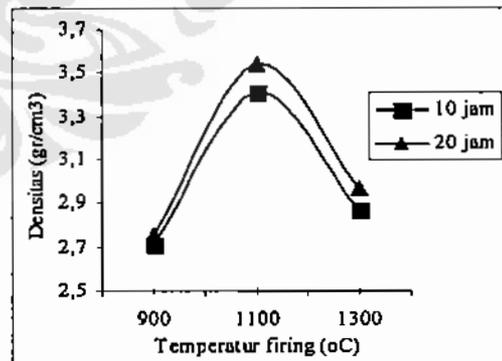
Sedangkan ketebalan lapisan *interfacial* sangat tergantung pada waktu tahan proses. Dengan semakin lamanya waktu tahan proses maka ketebalan lapisan *interfacial* akan meningkat, lapisan *interfacial* akan sangat mempengaruhi perilaku pembasahan, oleh karena itu kedalaman infiltrasi pun akan meningkat.

Laurent dkk [6] memperlihatkan bahwa sudut pembasahan sangat dipengaruhi oleh suhu dan lamanya waktu tahan. Rendahnya infiltrasi pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 900°C kemungkinan besar disebabkan oleh buruknya mampu basah (*wettability*). Pada suhu pemanasan 900°C dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai suhu transisi sudut pembasahan (suhu dimana sudut pembasahan mulai lebih kecil dari 90°).

Rendahnya tingkat infiltrasi pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1300°C kemungkinan besar diakibatkan oleh terganggunya proses infiltrasi SiC oleh leburan Al. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memastikan penyebab rendahnya infiltrasi pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1300°C.

4.2. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Densitas Produk Komposit SiC/Al

Pada penelitian ini densitas produk CMCs berbanding lurus dengan nilai kedalaman infiltrasi. Produk CMCs dengan nilai densitas tertinggi dihasilkan melalui pemanasan pada suhu 1100°C dengan waktu tahan 20 jam.



Gambar 7.

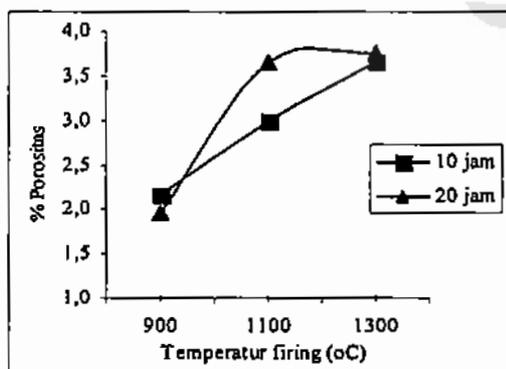
Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Densitas Produk Komposit Yang Terbentuk.

Produk CMCs yang terbentuk lewat proses pemanasan pada suhu 900°C tidak menunjukkan suatu peningkatan densitas yang cukup berarti, berbeda dengan produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1100°C. Densitas produk CMCs hasil pemanasan

pada suhu 1100°C terletak pada kisaran 3,2 – 3,9 gr/cm³ (kisaran densitas SiC – Al₂O₃), hal ini mengindikasikan bahwa blok paduan Al telah hampir seluruhnya terkonversi menjadi produk CMCs SiC/Al. Nilai densitas produk CMCs yang melebihi nilai densitas SiC yang berperan sebagai matriks kemungkinan karena adanya Al₂O₃ sebagai produk yang terbentuk akibat teroksidasinya Al. Densitas produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1300°C walaupun nilainya telah melewati nilai densitas Al namun masih belum pada kisaran densitas SiC sehingga bisa diasumsikan bahwa pada produk CMCs yang dihasilkan masih banyak kandungan Al-nya (pada produk dapat ditemui Al yang tidak menginfiltrasi prabentuk SiC).

4.3. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Porositas Produk Komposit SiC/Al

Hubungan antara porositas dengan densitas seharusnya adalah berkebalikan. Akan tetapi, dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pemanasan maka porositas yang diperoleh akan semakin banyak. Hal ini mungkin disebabkan karena pengukuran porositas dilakukan pada produk CMCs yang terbentuk secara keseluruhan (CMCs + Al sisa), sehingga data yang diperoleh bisa jadi kurang akurat.



Gambar 8.

Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Nilai Porositas Produk Komposit Yang Terbentuk.

Pengamatan struktur mikro produk CMCs memperlihatkan bahwa secara

keseluruhan porositas paling banyak ditemui pada daerah sekitar *interface* blok paduan Al–produk CMCs atau pada bagian dasar produk CMCs, sedangkan pada bagian yang terletak jauh dari dasar produk CMCs porositas lebih jarang ditemukan. Daerah sekitar *interface* atau bagian dasar CMCs merupakan daerah pada prabentuk yang bisa dikatakan miskin oksigen sehingga menurut Manor dkk [7] pertumbuhan matriks yang didahului dengan pembentukan *spinel*, MgAl₂O₄, tidak akan mampu menutup jarak antar partikel prabentuk yang pada akhirnya akan membentuk cacat *void* (porositas).

Struktur keramik yang *interconnected* secara 3 dimensi juga dapat menyebabkan terbentuknya porositas pada produk komposit. Akibat jaringan keramik yang *interconnected* Al tidak dapat mengisi semua celah yang tersisa pada matriks keramik, sehingga celah yang tidak terisi ini pada akhirnya akan menjadi cacat porositas.

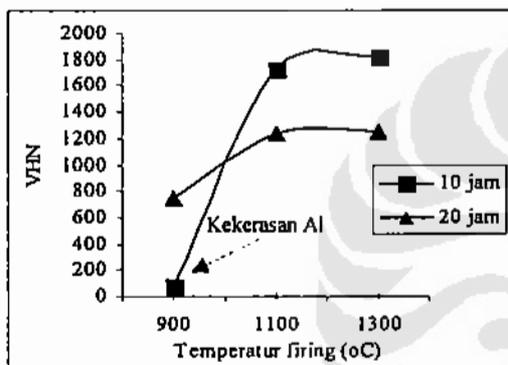
Selain makroporositas yang dapat diamati dengan cukup jelas, pada produk CMCs dapat juga terbentuk mikroporositas. Mikroporositas pada produk CMCs terbentuk akibat proses penyusutan Al pada saat proses pembekuan.

4.4. Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Mikro Produk Komposit SiC/Al

Nilai kekerasan mikro produk CMCs merupakan kombinasi dari berbagai nilai kekerasan fasa – fasa yang dapat ditemui dalam produk CMCs serta porositas produk CMCs tersebut. Porositas produk CMCs dapat mempengaruhi nilai kekerasan mikro terutama jika indenter saat proses pengujian kekerasan mikro mengenai bagian yang ada cacat porositasnya. Pada penelitian ini nilai kekerasan mikro produk CMCs hasil pemanasan pada suhu yang sama berkurang dengan meningkatnya waktu tahanan. Nilai kekerasan mikro tertinggi diperoleh pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 1300°C dengan waktu tahanan 10 jam.

Pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu 900°C diperoleh nilai kekerasan 754 VHN. Nilai kekerasan mikro ini masuk

dalam kisaran kekerasan fasa *spinel*, $MgAl_2O_4$. Tingkat infiltrasi Al yang rendah dan foto struktur mikro produk dengan porositas produk yang cukup tinggi dapat menjadi indikasi kehadiran *spinel*. *Spinel* yang merupakan produk antara sebelum terbentuknya Al_2O_3 menjadi mudah ditemui pada produk CMCs dengan porositas yang tinggi dikarenakan oleh sifat *spinel* yang terbentuk pada lapisan terluar SiC sebagai produk hasil reaksi MgO dengan Al_2O_3 . Hal ini didukung dengan pengujian komposisi produk CMCs hasil pemanasan pada suhu $1100^\circ C$ selama 20 jam yang menunjukkan bahwa pada daerah yang ada porositasnya dapat ditemui adanya senyawa Mg yang diperkirakan berasal dari *spinel*.



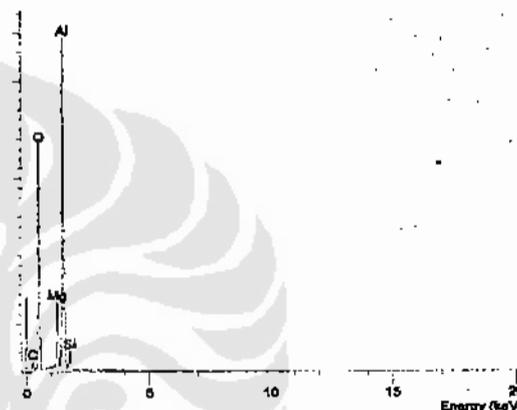
Gambar 9.

Pengaruh Suhu Pemanasan dan Waktu Tahan Terhadap Kekerasan Mikro Produk Komposit Yang Terbentuk.

Pada suhu pemanasan $1100^\circ C$ dan $1300^\circ C$ semakin lamanya waktu pemanasan akan menurunkan nilai kekerasan mikro produk CMCs secara signifikan. Waktu tahan yang lama akan menghasilkan produk CMCs dengan ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan produk CMCs dengan waktu tahan yang lebih singkat [8], sehingga kekerasannya menurun.

Secara keseluruhan peningkatan suhu pemanasan tidak meningkatkan nilai kekerasan mikro secara signifikan, kecuali peningkatan suhu pemanasan dari $900^\circ C$ menjadi $1100^\circ C$. Tidak adanya peningkatan nilai kekerasan mikro produk CMCs secara signifikan dari suhu pemanasan $1100^\circ C$ ke $1300^\circ C$ kemungkinan besar karena fasa –

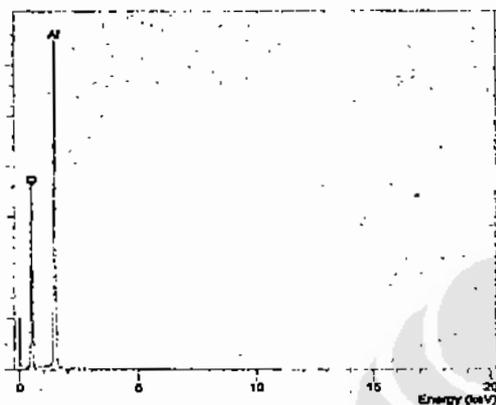
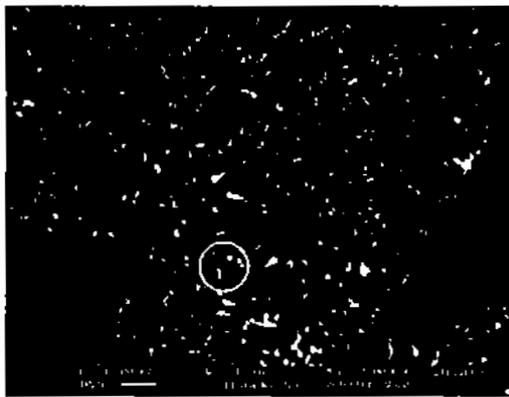
fasa yang terbentuk pada produk CMCs hasil pemanasan pada suhu $1100^\circ C$ tidak terlalu berbeda dengan fasa – fasa produk CMCs hasil pemanasan pada suhu $1300^\circ C$.



Gambar 10.

Hasil SEM Produk CMCs Hasil Pemanasan Pada Suhu $1100^\circ C$ Dengan Waktu Tahan 20 Jam. Pada Daerah Yang Dilingkari, Di Sekitar Porositas, Ditemukan Mg Yang Diperkirakan Berasal Dari *Spinel* Yang Dideteksi Dengan EDAX.

Nilai kekerasan mikro produk CMCs yang dihasilkan jauh di atas nilai kekerasan paduan Al yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa produk CMCs yang dihasilkan telah memiliki struktur mikro yang jauh berbeda dari struktur mikro paduan Al. Nilai kekerasan mikro yang teletak pada kisaran antara 1200 VHN sampai dengan ± 1800 VHN memperlihatkan bahwa produk CMCs yang dihasilkan pada struktur mikronya dapat ditemukan adanya fasa Al_2O_3 (kekerasan $Al_2O_3 \pm$ antara 1500 – 1650 VHN). Kehadiran fasa Al_2O_3 pada struktur mikro produk komposit dapat dilihat pada Gambar 11.



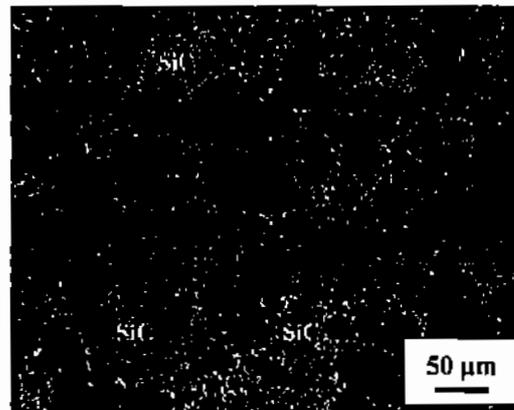
Gambar 11.

Hasil SEM Produk CMCs Hasil Pemanasan Pada Suhu 1100°C Dengan Waktu Tahan 20 Jam. Pada Daerah Yang Diuji Hanya Dapat Ditemukan Al dan Oksigen Sehingga Diasumsikan Daerah Tersebut Merupakan Al_2O_3 .

4.5. Pengaruh Suhu pemanasan dan Waktu Tahan terhadap Struktur Mikro Produk Komposit SiC/Al

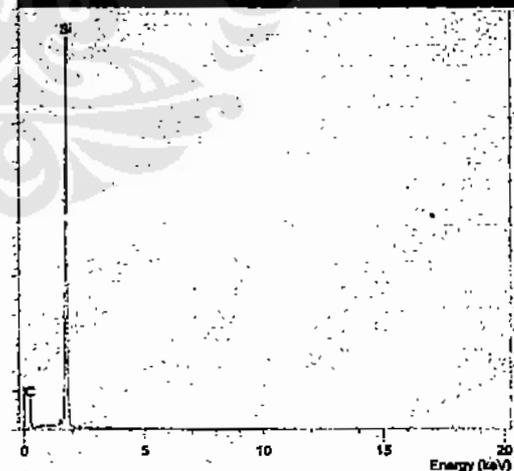
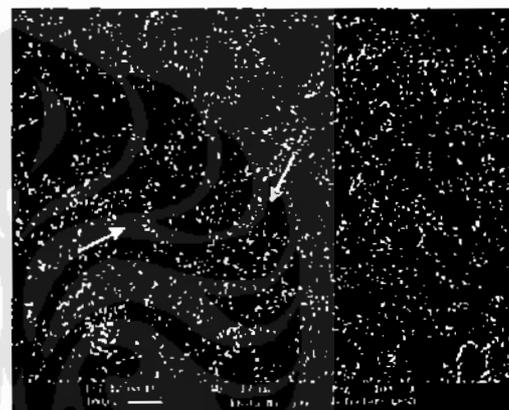
Pengaruh suhu pemanasan dan waktu tahan terhadap struktur mikro produk CMCs yang terbentuk tidak dapat diamati dengan jelas. Secara garis besar tidak terlihat adanya perbedaan struktur mikro yang nyata antara produk CMCs yang satu dengan yang lainnya.

Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa partikel SiC terdistribusi secara acak ke seluruh bagian produk komposit (lihat Gambar 12). Pada permukaan partikel SiC kadang dapat masih dijumpai adanya fasa Al_2O_3 . Kehadiran Al_2O_3 pada permukaan SiC dapat menjadi bukti nyata terjadinya pengkapsulan SiC lewat mekanisme seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 12.

Struktur Mikro Produk CMCs Hasil Pemanasan Pada Suhu 1100°C Selama 20 Jam. Bercak Halus Pada Permukaan SiC Merupakan Al_2O_3 .



Gambar 13.

Hasil SEM Produk CMCs Hasil Pemanasan Pada Suhu 1100°C Dengan Waktu Tahan 20 Jam. Partikel SiC Terdistribusi Secara Acak Pada Seluruh Bagian Produk Komposit.

Pengujian EDS pada struktur mikro dengan warna yang sangat terang menunjukkan adanya kehadiran unsur Cu

pada produk CMCs tersebut, unsur Cu ini diperkirakan berasal dari blok paduan Al yang digunakan. Kehadiran unsur Cu pada suatu paduan Al akan mengurangi kelarutan senyawa Mg_2Si [9].

Pengujian EDS berhasil mendeteksi keberadaan unsur Mg pada produk komposit. Mg selain dapat hadir dalam bentuk *spinel* juga dapat hadir dalam bentuk Mg_2Si . Menurut Ribes dkk [4] SiC dalam suatu paduan Al akan mengurangi kelarutan Mg_2Si , dengan adanya elemen Cu dan SiC dalam produk CMCs yang dihasilkan maka kemungkinan adanya senyawa Mg_2Si dalam produk CMCs yang terbentuk akan semakin besar.



Gambar 14.

Hasil SEM Produk CMCs Hasil Pemanasan Pada Suhu $1100^{\circ}C$ Dengan Waktu Tahan 20 Jam. Hasil EDS Pada Partikel Yang Terang Menunjukkan Adanya Unsur Cu Pada Produk CMCs Yang Terbentuk.

5. Kesimpulan

1. Blok paduan Al yang digunakan terkonsumsi seluruhnya pada suhu pemanasan $1100^{\circ}C$ dengan waktu tahan 20 jam (infiltrasi 100%).
2. Produk komposit dengan densitas maksimum, sebesar $3,54 \text{ gram/cm}^3$, dihasilkan melalui proses pemanasan pada suhu $1100^{\circ}C$ selama 20 jam.
3. Porositas produk komposit yang terbentuk meningkat seiring dengan peningkatan suhu pemanasan.
4. Produk komposit dengan kekerasan mikro maksimum, sebesar 1820 VHN, diperoleh pada suhu pemanasan $1300^{\circ}C$ dengan waktu tahan 10 jam..
5. Pada produk komposit yang terbentuk dapat ditemui adanya fasa Al_2O_3 , *spinel* ($MgAl_2O_4$), dan kemungkinan fasa Mg_2Si . *Spinel* dapat ditemui pada daerah – daerah yang ada porositasnya dan pada permukaan partikel SiC dapat ditemui adanya senyawa Al_2O_3 yang membuktikan telah terjadinya pengkapsulan SiC.

Daftar Acuan

- [1]. Matthews, F.L dan R.D. Rawlings, *Composite Materials: Engineering and Science*, London: Chapman and Hall, 1994.
- [2]. Composite Materials Handbook Vol. 5, *Ceramic Matrix Composites*, USA: Department of Defense, Juni 2002.
- [3]. Gu, X dan R.J. Hand, *The Production of Reinforced Aluminium / Alumina Bodies by Directed Metal Oxidation*, Journal of The European Ceramics Society, hal 823 – 831, 1995.
- [4]. Ribes, H. dkk, *Microscopic Examination of the Interface Region in 6061 – Al/SiC Composites Reinforced with As – Received and Oxidized SiC Particles*. Metallurgical Transactions Vol. 21A, hal 2489 – 2496, September 1990.
- [5]. Nagelberg, A.S., *Observations On The Role of Mg and Si In The Directed Oxidation of Al – Mg – Si Alloys*, Journal of Material Research,

- Vol. 7, No. 2, hal 265 – 267, Februari 1992.
- [6]. Laurent, V.,D. Chatain, N. Eustathopoulos, *Wettability of SiC by aluminium and Al – Si alloys*, Journal of Materials Science, Vol. 22, hal 244 – 250, 1987.
- [7]. Manor, Eitan, Hu Ni dan Carlos G. Levi, *Microstructure Evolution of SiC/Al₂O₃/Al ~ Alloy Composites Produced by Melt Oxidation*. Journal of The American Ceramic Society, Vol.76, No.7, hal 1777 – 1787, 2001.
- [8]. Callister, William D., *Materials Science and Engineering An Introduction*, New York: John Wiley and Sons, 2003.
- [9]. Murayama, M. dkk., *The Effect of Cu Additions on the Precipitation Kinetics in an Al-Mg-Si Alloy with Excess Si*. Metallurgical and Materials Transactions A Vol. 32A, hal 239, Februari 2001.

