

PENGARUH PELAPISAN OKSIDA SiO_2 PADA PERMUKAAN PARTIKEL SiC TERHADAP KUALITAS IKATAN ANTARMUKA KOMPOSIT Al-SiC

¹M. Saleh, ²M. Zainuri

¹ Mahasiswa Pascasarjana Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

² Dosen Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya

email : ¹lenfis@physics.its.ac.id, ²M.Zainuri@physics.its.ac.id

Abstrak

Komposit matrik logam Al-SiC menggunakan aluminium sebagai matrik dan partikel keramik SiC sebagai penguat dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Dalam penelitian ini, komposit Al-SiC dengan variasi perlakuan panas terhadap partikel keramik SiC pada suhu 900°C , 1000°C , dan 1100°C serta variasi fraksi volume SiC 10, 20, 30 dan 40%. Perlakuan panas pada partikel SiC adalah untuk melapisi permukaan partikel SiC dengan oksida SiO_2 yang berfungsi sebagai pengikat (*binder*) dan dapat meningkatkan aspek kemampubasahan partikel SiC yang pada akhirnya akan meningkatkan kualitas ikatan antarmuka antara matrik dan penguat. Pembentukan *green density* dilakukan dengan proses *single compaction* dan beban sebesar 15 KN, proses sinter dilakukan dalam tabung vakum pada suhu 600°C dengan *holding time* 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelapisan partikel SiC dapat meningkatkan kekerasan dan nilai modulus elastisitas pada komposit Al-SiC . Pada semua fraksi volume SiC pada komposit Al-SiC perlakuan panas SiC pada suhu 1100°C mempunyai nilai kekerasan dan modulus elastisitas yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan panas partikel SiC yang lain.

Katakunci: komposit, ikatan antarmuka, modulus elastisitas

1. Pendahuluan

Pengembangan awal komposit matrik logam (*metal matrix composite*, MMC) telah dimulai sejak tahun tujuh puluhan. Secara umum pengembangan teknologi komposit bertujuan untuk meningkatkan efisiensi struktur dan karakterisasi sifat material yang signifikan, seperti untuk aplikasi material yang ringan tetapi sangat kuat (S. Deni, dkk., 2008). Pembentukan komposit matriks logam dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satu diantaranya pembentukan dengan metode metalurgi serbuk. Keuntungan metode metalurgi serbuk meliputi dapat langsung dihasilkan tanpa perlu dilakukan permesinan dan dapat diproduksi dalam skala kecil maupun massal. Kelemahan metode metalurgi serbuk yaitu penggabungan antara bahan penyusun relatif sulit, karena keramik SiC memiliki tingkat kebasahan yang rendah dibandingkan logam Al dan kecenderungan keramik SiC untuk mengelompok. Material komposit matrik aluminium dengan penguat keramik SiC atau disebut komposit isotropik Al-SiC merupakan kombinasi yang sangat sesuai dalam peningkatan performa mekanik dan ketahanan dalam kerusakkan korosif. Peningkatan aspek kemampubasahan pada komposit ini dilakukan dengan dengan melapisi SiC dengan material metal atau oksida metal dengan metode elektrolisa yang rumit dan biaya produksi yang tinggi (Zainuri, M., 2003), dkk., 2000). Penelitian peningkatan kemampubasahan antara partikel penguat SiC dan matrik Al telah banyak

dilakukan oleh peneliti di bidang rekayasa sifat material, beberapa diantaranya melakukan penelitian pada komposit Al-SiC yang dibuat melalui fasa cair oleh A. Urena (A. Urena, 2001), dimana proses pelapisan permukaan SiC dengan membentuk silikon oksida dengan proses perlakuan panas pada permukaan SiC .

Penelitian yang berkaitan dengan peningkatan aspek kebasahan antara Al dan SiC sampai saat ini masih banyak dilakukan. Zainuri (2007) menghasilkan penelitian bahwa adanya keterkaitan kompaktibilitas interfasial pada material komposit dengan sifat mekaniknya. Berdasarkan pengamatan strukturmikro dan analisis fase yang terbentuk pada daerah antarmuka SiC dan Al , menunjukkan adanya fase baru yang berfungsi sebagai *binder* antara matrik dan penguat, sehingga menghasilkan interaksi interfasialnya yang sangat baik.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pelapisan SiO_2 pada permukaan partikel SiC terhadap kualitas ikatan antar muka antara matrik Al dan penguat SiC pada komposit Al-SiC . Pada penelitian ini difokuskan pada pembentukan oksida pada partikel SiC yang berperan sebagai *binder* antara matrik Al dan penguat SiC . Ketebalan lapisan yang terbentuk sangat tergantung pada suhu perlakuan panas dan waktu tahan pada saat proses pemanasan. Kualitas dari ikatan antar muka antara Al dan SiC sangat ditentukan oleh kualitas dan kuantitas oksida yang terbentuk pada permukaan partikel SiC .

Komposit isotropik merupakan komposit yang penguatnya memberikan penguatan yang sama untuk berbagai arah (baik secara transversal maupun longitudinal), sehingga segala pengaruh tegangan atau regangan dari luar akan mempunyai nilai kekuatan yang sama. Banyak model yang digunakan untuk memprediksi nilai modulus elastisitas material komposit bermatrik logam (MMCs), pada dasarnya pendekatan tersebut menganggap ikatan antara matrik dan partikel penguat terjadi secara sempurna. Pengaruh perubahan fraksi volume penguat terhadap modulus elastisitas komposit secara teoritik pada umumnya menggunakan konsep dasar dari *rule of mixer* (ROM). Konsep dasar dari ROM adalah menganggap perlakuan tegangan pada material komposit adalah *iso-strain* (pada pembebanan yang longitudinal) dan *iso-stress* (pada pembebanan transversal) pada matrik dan penguatnya. Persamaan modulus elastisitas berdasarkan konsep ROM adalah:

- *Iso-strain* yang disebut *Upper Bond*

$$E_c = E_m V_m + E_f V_f \quad (1)$$

- *Iso-stress* yang disebut *Lower Bond*

$$E_c = \frac{E_m \cdot E_f}{E_m \cdot V_m + E_f \cdot V_f} \quad (2)$$

Keterkaitan besar modulus elastisitas isotropik dengan fraksi volume penguat dinyatakan oleh persamaan berikut ini (Zainuri, M., 2008):

$$E_c = \frac{E_m (1 + 2S_q V_f)}{1 - q V_f} \quad (3)$$

$$\text{di mana: } q = \frac{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) - 1}{\left(\frac{E_f}{E_m}\right) + 2S} \quad (4)$$

Dengan S merupakan faktor geometri fiber, merupakan rasio dari panjang (l) dan diameter (d) dari penguat atau (l/d). Sedangkan E_c , E_m , dan E_f merupakan modulus elastisitas komposit, modulus elastisitas matrik dan modulus elastisitas penguat. Untuk V_f merupakan fraksi volume penguat.

Material keramik (MMCs) secara umum merupakan material porus, yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Secara teoritik korelasi porositas terhadap modulus elastisitas komposit dapat didekati dengan model *minimum contact area* (MCA) yang menganggap kekuatan material tergantung pada luas kontak minimum partikel. Sesuai dengan model tersebut sifat mekanik material akan menurun secara eksponensial dengan peningkatan fraksi volume porositas sesuai dengan persamaan Sprigg's (Nyongesa, 2004):

$$E = E_0 \exp(-b\phi) \quad (5)$$

dengan E = modulus elastisitas (GPa), E_0 = modulus elastisitas teoritik (GPa), b = parameter empiris yang dikaitkan dengan luas area minimum = 3.959; p = fraksi porositas.

2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan serbuk aluminium (Al) sebagai matrik dan serbuk SiC (220 mesh = 69,2 μm) sebagai penguat dengan spesifikasi proanalisis. Larutan polar yaitu acetone digunakan sebagai media pencampur.

Pada keadaan awal SiC dianalisis dengan *differential thermal analysis* (DTA) untuk mengidentifikasi proses suhu yang terkait dengan transformasi fase yang terjadi, dimana berhubungan dengan terbentuknya oksida pada partikel SiC. Proses terbentuknya oksida pada SiC berdasarkan referensi dan dibandingkan dengan data DTA, dijadikan acuan untuk perlakuan termal pada SiC yang bervariasi antara 900, 1000, dan 1100°C dengan *holding time* 4 jam. Proses pencampuran SiC terhadap serbuk Al dilakukan dengan metode basah (*wet mixing*) menggunakan acetone, dengan variasi fraksi volume penguat SiC 10, 20, 30, dan 40%. Proses pembentukan *densitas prasinter* komposit Al-SiC dilakukan melalui proses *single compaction* dengan beban di atas yield strength Al dengan beban 15 kN dan waktu penahanan 15 menit. Untuk meningkatkan kualitas ikatan antar partikel bahan pembentuk komposit dan meminimalisasi porositas dilakukan proses sintering dalam keadaan vakum (10^{-3} torr) pada suhu 600°C dengan waktu penahanan 60 menit.

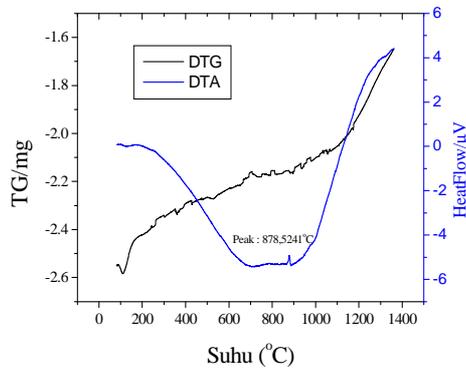
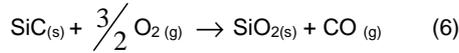
Hasil komposit Al-SiC yang telah disintesis selanjutnya dianalisis densitas dan porositas dengan metode Archimedes. Analisa mikrostruktur dan interpretasi fase yang terbentuk dianalisis menggunakan *Scanning electron microscope* (SEM) dan X-Ray diffractometer (XRD) Dalam menganalisis sifat mekanik, sampel diuji menggunakan uji kekerasan vickers (HV). Dari data hasil pengujian di analisis korelasi antara pengamatan mikrostruktur terhadap sifat mekanik yang terjadi pada material komposit Al-SiC yang mengalami pelapisan oksida pada permukaan partikel SiC.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi permukaan partikel SiC yang terlapis melalui proses perlakuan panas.

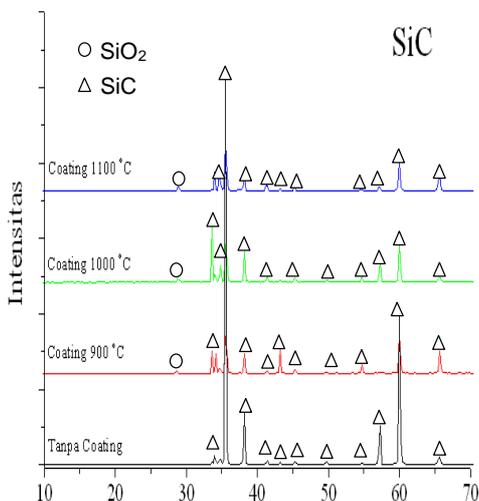
Perlakuan panas terhadap partikel SiC pada suhu diatas 900°C berdasarkan pada hasil DTA/DTG pada partikel SiC yang terkait dengan transformasi fasa pada permukaan SiC, hasil DTA/DTG permukaan SiC ditunjukkan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa di atas suhu 878,52°C terjadi penambahan massa SiC, ini menunjukkan bahwa diatas suhu itu sudah mulai terbentuk fasa baru, fase baru yang terbentuk adalah fase SiO₂. Terbentuknya formasi SiO₂ pada permukaan partikel SiC dalam

lingkungan atmosfer, dimana mekanisme reaksinya dinyatakan dengan (Villegas, 2006):



Gambar 1. Hasil DTA/DTG pada partikel SiC

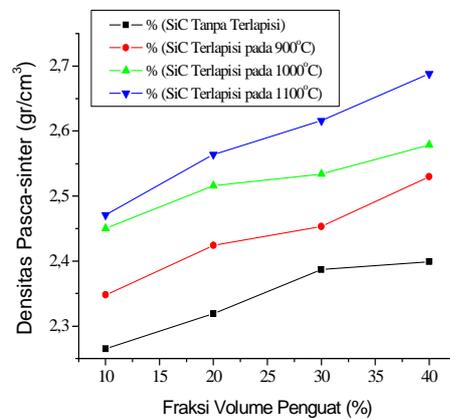
Fasa yang terbentuk pada permukaan partikel SiC diamati dengan menggunakan XRD diperlihatkan dalam Gambar 2. Hasil XRD menunjukkan bahwa sebelum dilakukan perlakuan panas pada permukaan SiC hanya ada fasa SiC dan tidak ada fasa yang lain. Fasa SiC yang terdeteksi tersebut menurut nomor JCPDF Nomor 31-1232, 42-1360, dan 29-1127. Sedangkan untuk partikel SiC yang diberi perlakuan panas pada suhu 900, 1000, dan 1100°C, hasil XRD menunjukkan terbentuknya puncak fasa SiO₂ (menurut nomor JCPDF 03-0270) dan puncak-puncak utama material SiC. Dari Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi suhu coating maka lapisan SiO₂ yang terbentuk semakin tebal, hal ini disebabkan dengan semakin tinggi suhu maka energi aktivasi untuk terjadinya reaksi oksidasi semakin besar sehingga akan menyebabkan semakin tebalnya lapisan SiO₂ yang terbentuk pada lapisan SiC.



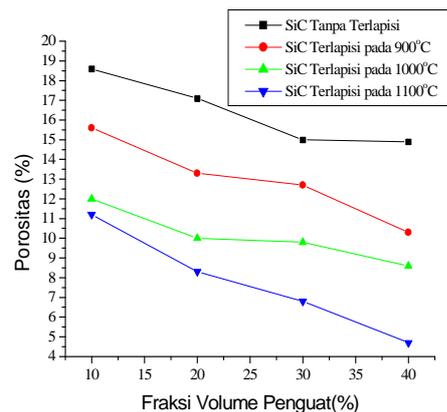
Gambar 2. Analisis XRD pada serbuk SiC

3.2 Densitas dan porositas

Porositas pada material komposit dipengaruhi oleh beberapa variabel proses yang cukup beragam. Aspek internal, seperti jenis material, ukuran partikel, dan bentuk partikel, sedangkan aspek eksternal yang berpengaruh adalah gaya tekan, suhu sinter, waktu tahan, dan lingkungan pada saat proses sinter. Proses sinter sangat terkait dengan energi aktivasi atomik permukaan partikel, untuk terjadinya difusi antar permukaan partikel sedangkan waktu tahan sinter sangat mempengaruhi kedalaman difusi atomiknya. Difusi antar permukaan partikel akan menyebabkan eliminasi porositas dan terjadi peningkatan densitas pra-sinter atau kerapatan antar partikel sebaliknya menurunkan porositas setelah proses sinter.



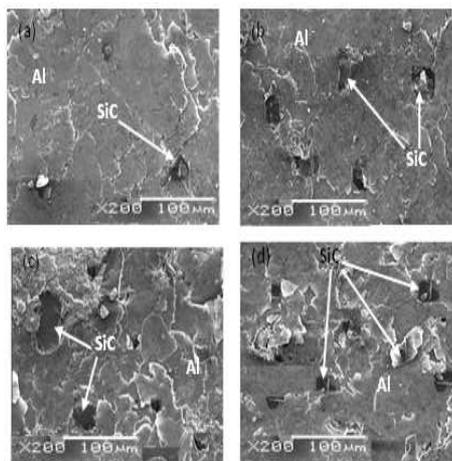
Gambar 3. Grafik hubungan densitas pasca-sinter terhadap fraksi volume penguat



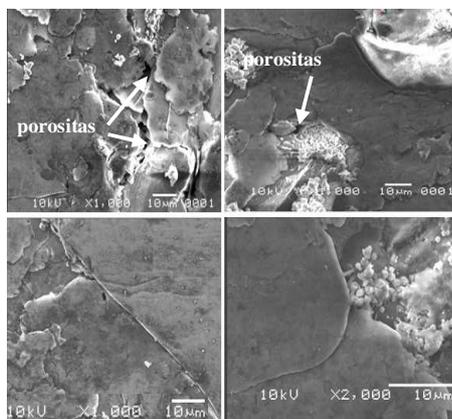
Gambar 4. Grafik korelasi porositas terhadap fraksi volume SiC pada komposit Al-SiC

Hasil densitas pasca-sinter dan porositas pada komposit Al-SiC berdasarkan variabel fraksi volume penguat dan suhu perlakuan panas partikel SiC berbeda dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan densitas pasca-sinter meningkat dan porositas menurun seiring dengan

pertambahan fraksi volume penguat untuk semua keadaan. Hal tersebut terjadi karena dengan pertambahan fraksi volume penguat, maka distribusi SiC dalam Al akan semakin meningkat, sehingga pada proses kompaksi terjadi distribusi yang merata (kehomogenan tinggi). Distribusi SiC ini ditunjukkan melalui pengamatan SEM pada Gambar 5 dan Gambar 6 di mana terjadi peningkatan nilai densitas dan penurunan porositas ketika penguat SiC diberi pelapisan.



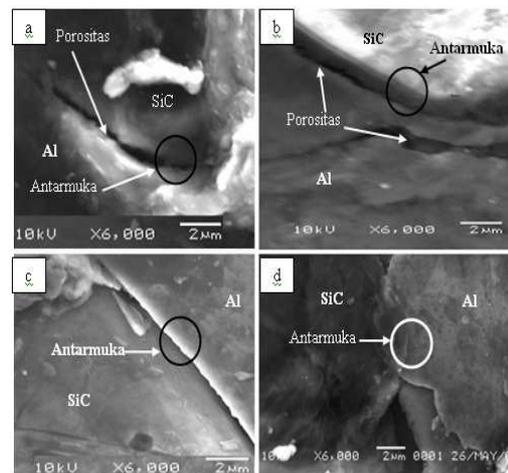
Gambar 5. Mikrostruktur komposit Al-SiC dengan penguat SiC terlapis pada suhu 1000°C (a) 10% (b) 20% (c) 30% (d) 40%



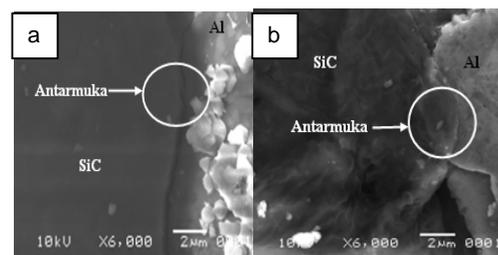
Gambar 6. Mikrostruktur komposit Al-SiC dengan penguat SiC 40% (a) SiC Tanpa terlapis (b) SiC terlapis pada 900°C (c) SiC terlapis pada 1000°C (d) SiC terlapis pada 1100°C

Pada suhu pelapisan SiC yang semakin tinggi pada fraksi volume yang sama, nilai densitas menunjukkan kecenderungan semakin tinggi. Peningkatan densitas tersebut, dikarenakan kenaikan suhu perlakuan panas permukaan SiC akan memperbanyak (mempertebal) lapisan SiO₂ yang terbentuk sebagai pengikat (*binder*) antara matrik dan penguat, sehingga terjadi ikatan antarmuka yang baik antara matrik dan penguat. Pelapisan

partikel SiC dengan oksida SiO₂ dapat meningkatkan ikatan antarmuka antar matrik dan penguat (Urena, 2004). Hal itu ditunjukkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan seperti ditunjukkan Gambar 7. Fenomena tersebut terjadi karena difusi atomik dapat mengurangi volume porositas. Semakin tinggi fraksi volume penguat semakin baik kualitas ikatan permukaan antar matrik dan penguat sehingga transmisi tegangan dari matrik ke penguat atau sebaliknya dapat terjadi dengan sempurna. Hal ini berakibat dapat meningkatkan sifat mekanik komposit (Gambar 8).



Gambar 7. Mikrostruktur komposit Al-SiC dengan penguat SiC 40% (a) SiC Tanpa terlapis (b) SiC terlapis pada 900°C (c) SiC terlapis pada 1000°C (d) SiC terlapis pada 1100°C

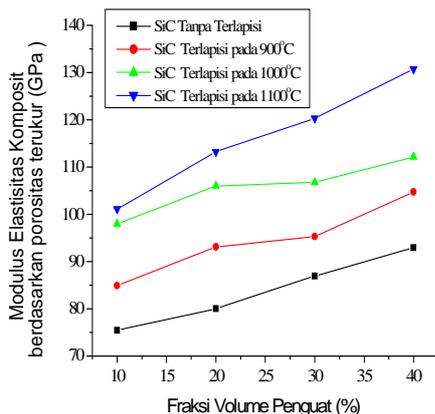


Gambar 8. Mikrostruktur komposit Al-SiC dengan penguat SiC terlapis pada suhu 1100°C (a) 10% (b) 40%

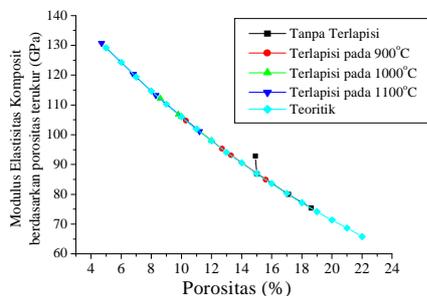
3.3 Analisis modulus elastisitas komposit Al-SiC

Keterkaitan sifat fisis seperti densitas atau porositas berkorelasi terhadap nilai mekanik dari material komposit. Hal tersebut berkaitan dengan kualitas ikatan antarmuka antara matrik dan penguat, yang mempengaruhi aspek transmisi tegangan dari matrik ke penguat saat mendapatkan beban eksternal. Mekanik bahan komposit secara umum ditentukan oleh konsentrasi penguat yang ditambahkan pada bahan matrik. Gambar 9 menunjukkan

peningkatan nilai modulus elastisitas komposit Al-SiC dengan SiC tanpa terlapis dan SiC terlapis terhadap variabel fraksi volume. Peningkatan ini terkait dengan peningkatan densitas, pengurangan porositas, peningkatan konsentrasi (fraksi volum) dan distribusi penguat yang homogen (J.C.Lee, 1996), dan semakin baiknya kualitas ikatan antarmuka antara penguat dan matriksnya.



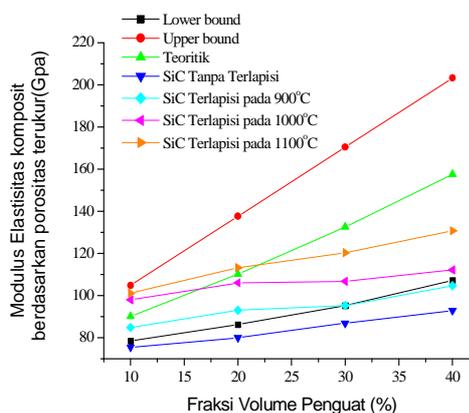
Gambar 9. Grafik fraksi volume penguat terhadap modulus elastisitas komposit Al-SiC



Gambar 10. Grafik porositas terhadap modulus elastisitas hasil eksperimen dan analisis persamaan Sprigg's

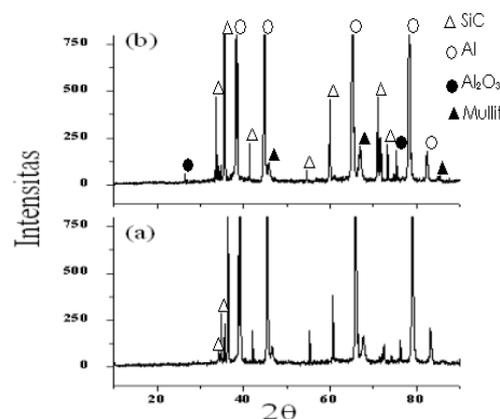
Proses pelapisan pada partikel penguat SiC mampu meningkatkan ikatan antarmuka antara matrik dan penguat, sehingga mampu meningkatkan kekuatan mekanik komposit Al-SiC. Masing-masing komposit Al-SiC dengan penguat SiC tanpa terlapis dan penguat SiC terlapis menghasilkan nilai modulus elastisitas yang berbeda. Banyak kemungkinan yang menyebabkan hal tersebut, salah satunya adalah kondisi bahan pelapis dalam keadaan metastabil. Metal oksida metastabil dalam komposit berperan sebagai perekat yang mempunyai kemampuan sebagai fasa transisi antara fasa matrik dan penguat. Dari Gambar 10 terlihat bahwa modulus elastisitas komposit Al-SiC akan menurun secara eksponensial dengan peningkatan fraksi volume porositas. Kenaikan fraksi porositas akan menyebabkan degradasi sifat mekanik bahan komposit. Hal tersebut

dikarenakan terjadinya pemusatan-pemusatan tegangan eksternal pada titik-titik porositas (permukaan porositas) sehingga secara keseluruhan akan menyebabkan material akan cenderung lebih getas dan terjadi penghambatan (kegagalan) transmisi tegangan.



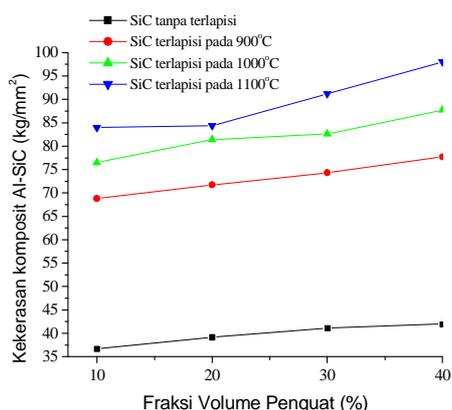
Gambar 11. Grafik modulus elastisitas Al-SiC dengan tanpa pelapisan dan pelapisan pada permukaan SiC secara teoritik dan eksperimen dibandingkan dengan pengujian *upper* dan *lower bound*.

Gambar 11 menunjukkan nilai teoritik modulus elastisitas komposit Al-SiC tepat berada di antara *upper* dan *lower bound* pada semua fraksi volume penguat SiC. Berdasarkan hasil eksperimen pada komposit Al-SiC yang permukaan SiC terlapis pada suhu 900, 1000 dan 1100°C nilai modulus elastisitasnya masuk pada zona *upper* dan *lower bound*. Hal tersebut mengindikasikan kualitas ikatan antarmuka antara matrik dan penguat terjadi dengan baik, sehingga menghasilkan komposit Al-SiC yang memiliki nilai modulus elastisitas tinggi.



Gambar 12. Hasil pengamatan XRD pada komposit Al-SiC fraksi volum SiC 40% dengan SiC (a) Tanpa terlapis (b) Terlapis pada suhu 1100°C

Nilai modulus elastisitas komposit Al-SiC tidak hanya dipengaruhi oleh fraksi volume penguat SiC tetapi sangat terkait dengan suhu pelapisan partikel SiC sampai terbentuk oksida yang berfungsi meningkatkan kemampubasahan antara matrik dan penguat. Memperlakukan permukaan SiC dengan pelapisan oksida metal yang bersifat metastabil dapat berperan sebagai pengikat antara matrik dan penguatnya. Gambar 12 menunjukkan hasil XRD dari dua keadaan bahan komposit Al-SiC yang berbeda perlakuan antara partikel SiC terlapisi dan tidak terlapisi pada fraksi volume SiC 40%. Untuk komposit Al-SiC yang terlapisi menunjukkan adanya fase-fase metal oksida yang terbentuk seperti Al_2O_3 (JCPDF 47-1308) dan mullit (JCPDF 02-0452). Fase-fase tersebut kemungkinan terbentuk pada daerah antarmukanya, Khusus fase mullit terbentuk pada daerah antarmuka karena merupakan gabungan antara elemen-elemen dari matrik dan penguat dari bahan komposit. Fase-fase metal oksida seperti SiO_2 , Al_2O_3 , mullit berperan dalam meningkatkan kemampubasahan antara Al dan SiC.



Gambar 13. Grafik kekerasan komposit Al-SiC terhadap perubahan fraksi volum penguat

Berdasarkan pengamatan nilai kekerasan (Gambar 13) menunjukkan adanya korelasi antara perubahan fraksi volum penguat SiC dan pengaruh kenaikan suhu proses pelapisan partikel penguat SiC terhadap nilai kekerasan komposit. Semakin tinggi fraksi volume penguat SiC dan suhu pelapisan SiC, maka semakin besar nilai kekerasannya. Hal ini terkait dengan adanya jembatan cair (*liquid bridge*) yang menyebabkan proses minimalisasi volume porositas. Hal tersebut disebabkan terbentuknya metal oksida pada permukaan partikel SiC sehingga saat berinteraksi dengan permukaan partikel-partikel matrik akan terjadi proses interdifusi antar kedua permukaan tersebut. Fenomena ini menyebabkan kerapatan dari bahan komposit yang dibuat akan semakin meningkat dan berkorelasi dengan nilai kekerasan.

4. Kesimpulan

Proses pelapisan permukaan partikel SiC dengan perlakuan panas diatas suhu 878,52°C meningkatkan terbentuknya fase oksida dengan semakin tingginya suhu yang diberikan. Pengaruh pelapisan oksida pada partikel SiC berkorelasi terhadap kenaikan nilai densitas dan penurunan nilai porositas komposit Al-SiC. Berdasarkan pengamatan SEM dan XRD fase-fase yang terbentuk pada komposit Al-SiC didaerah antarmuka antara SiC dan Al adalah SiO_2 , Al_2O_3 dan mullit. Dimana fase-fase tersebut berperan sebagai pengikat antara matrik Al dan penguat SiC pada komposit Al-SiC. Pengujian *Upper* dan *lower bound* pada komposit Al-SiC dengan penguat SiC terlapisi, pada semua fraksi volume penguat nilai modulus elastisitas komposit masuk dalam zona *Upper* dan *lower bound*, sedangkan komposit Al-SiC dengan penguat SiC tanpa terlapisi mempunyai nilai modulus elastisitas diluar *Upper* dan *lower bound*. Kenaikan nilai kekerasan komposit dipengaruhi oleh penambahan fraksi volum penguat dan suhu pelapisan oksida logam pada permukaan SiC dalam komposit Al-SiC.

5. Penghargaan

Dengan telah selesainya penelitian ini, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak: Dr. Mochammad Zainuri, M.Si atas segala motivasi, dan bantuan yang telah diberikan.

6. Pustaka

- Deni, S. (2008), Analisis Pengaruh Komposisi SiC Terhadap Sifat Mekanis Komposit Serbuk Al/SiC dengan Proses *Single Compaction*, Journal Makara Sains.
- J. C. Lee. (1996), *Methodologies to observe and characterize interfacial reaction products in (Al₂O₃)/Al and SiC/Al composites using SEM, XRD, TEM*, Scripta Materiala, Vol. 35, No. 6, pp. 721-726.
- M. Villegas., dkk, (2006), *Oxidation treatments for SiC particles and its compatibility with glass*, Journal of the European ceramic society 861-865.
- M. Zainuri., Eddy S.S., Dedi Priadi., Anne Zulfia., Darminto, (2008), Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal terhadap Modulus Elastisitas komposit Al/SiC, Makara Sains, Volume 12, No.2, 126-133.
- Nyongesa, F.W. (2004), *Fracture strength of porous ceramics: Stress Concentration Vs Minimum Solid Area Models*, African Journal of science and Technology, Vol. 6, No. 2.
- Urena, A., dkk. (2001), *Active Coating for SiC Particles Reduce the Degradation by Liquid Aluminium During Processing of Aluminium Matrix Composites*. Journal of Microscopy, Vol.201, pp.122-136.
- Willi Pabst. (2004), *Effect Elastic Properties of Alumina-Zirconia Composite Ceramic*

Part 4. Tensile Modulus of Porous Alumina and Ceramic. Silikaty 48 (4) 165-174.

Zainuri, M., (2003), Pembuatan Komposit Serbuk Al-SiC Lamina pada Pembuatan Komponen Gear, Penelitian Hibah, Fisika MIPA ITS, Surabaya

Zainuri, M., Eddy S.Siradj., Priadi D., Zulfia A., Darminto.,(2007), Peningkatan Wetability Partikel Komposit Isotropik Al-SiC dengan Metode Pelapisan Pelktroless Metal Oksida Pada Partikel Penguat SiC, Seminar Fisika dan Aplikasinya.D7:3-20. Semikonduktor Oksida Logam", Kelompok Sensor Gas, Vol. 1, NO. 1, hal. 1-19.