

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Waktu Tahan Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 terhadap Densitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 yang dibuat pada penelitian ini menggunakan matriks aluminium dengan penguat silikon karbida (SiC) pada lamina pertama dan matriks aluminium dengan penguat alumina (Al_2O_3) pada lamina kedua melalui proses metalurgi serbuk.

Antarmuka (*interface*) pada matriks-penguat merupakan bagian yang sangat penting dalam komposit. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, bahwa pada umumnya material keramik sulit dibasahi sehingga dilakukan proses *elektroless plating* pada penguat keramik SiC dan Al_2O_3 untuk meningkatkan pembasahan melalui pembentukan lapisan *spinel* sehingga ikatan antarmuka yang dihasilkan akan semakin baik. Selain untuk meningkatkan kemampuan pembasahan, pelapisan juga dilakukan untuk mencegah reaksi yang bersifat merusak sehingga reaksi antarmuka menjadi lebih baik. Kualitas dari ikatan antarmuka ini akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik komposit yang dihasilkan termasuk densitas, porositas, serta sifat mekanik dari komposit.

Pada dasarnya densitas pada proses metalurgi serbuk dibedakan menjadi dua yaitu densitas sebelum sinter (*Green Density*) dan densitas sesudah sinter (*Sinter Density*). *Green density* merupakan densitas bakalan setelah proses kompaksi (*green compact*) yang terbentuk akibat adanya ikatan antar partikel yang dapat disebabkan oleh kekasaran permukaan partikel maupun perbedaan muatan antar partikel serbuk. Ikatan yang terjadi biasanya masih sangat lemah, sehingga diperlukan proses sinter untuk memperkuat ikatan antar partikel tersebut. Setelah proses sinter, densitas bakalan (*burn compact*) disebut sebagai densitas sinter.

Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui hubungan antara waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap nilai densitas sinter material komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 . Pengujian ini dilakukan

dengan metode Archimedes berdasarkan standar ASTM 378-88. Hasil pengujian densitas sinter ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Densitas Sinter Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

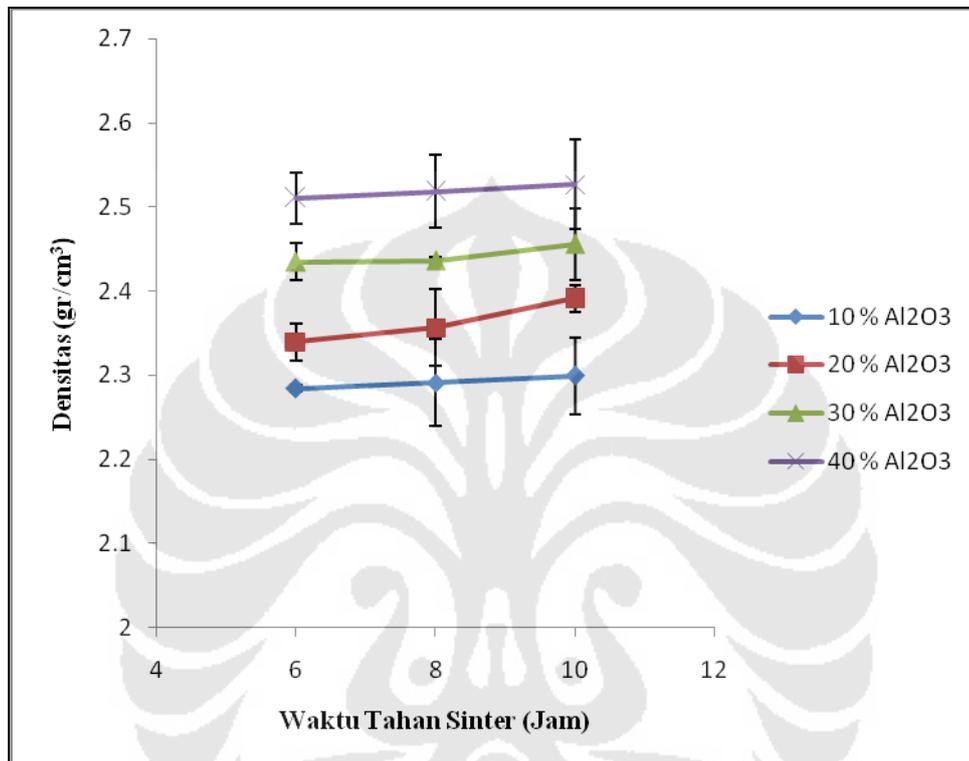
Waktu tahan Sinter (jam)	Vf Penguat (%)		Densitas Sinter Rata-rata (gr/cm ³)
	SiC	Al ₂ O ₃	
6	40	10	2,284
	40	20	2,340
	40	30	2,434
	40	40	2,510
8	40	10	2,291
	40	20	2,357
	40	30	2,436
	40	40	2,518
10	40	10	2,299
	40	20	2,391
	40	30	2,456
	40	40	2,526

Pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ ini, fraksi volume penguat SiC dibuat tetap yaitu 40%, sedangkan fraksi volume penguat Al₂O₃ divariasikan 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %. Proses sinter dilakukan pada temperatur 600 °C dengan variasi waktu tahan sinter 6, 8, dan 10 jam.

Dari Tabel 4.1 terlihat bahwa pada waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ yang berbeda, maka densitas sinter yang dihasilkan juga berbeda. Dapat disimpulkan bahwa waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ memberikan pengaruh terhadap densitas sinter yang diperoleh di penelitian ini. Pengaruh waktu tahan sinter terhadap densitas komposit laminat hibrid pada variasi fraksi volume penguat Al₂O₃ 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % dapat diamati pada Gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa pada fraksi volume Al₂O₃ 10 % terjadi peningkatan densitas dari 2,284 gr/cm³ saat waktu tahan 6 jam menjadi 2,291 gr/cm³ pada waktu tahan 8 jam dan meningkat lagi menjadi 2,299 gr/cm³ pada waktu tahan 10 jam. Begitu juga pada fraksi volume Al₂O₃ 20 %, 30 %, dan 40 %, densitas sinter komposit meningkat seiring dengan peningkatan waktu tahan

sinter. Densitas terendah berada pada waktu tahan sinter 6 jam dan fraksi volume penguat Al_2O_3 10 %, yaitu sebesar $2,284 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan densitas sinter terbesar dicapai pada waktu tahan 10 jam dan fraksi volume penguat Al_2O_3 40 % yaitu sebesar $2,526 \text{ gr/cm}^3$.



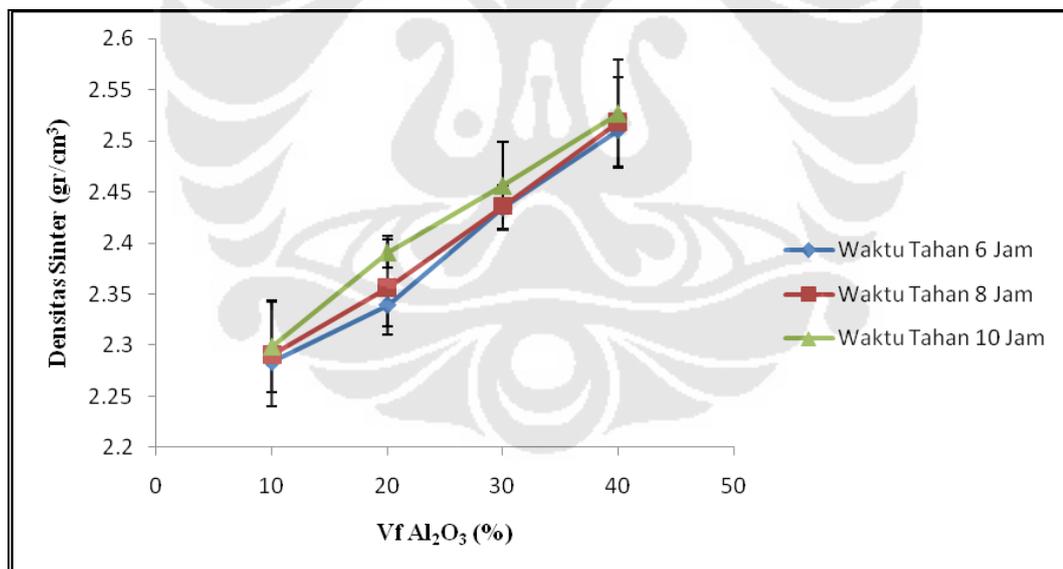
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Waktu Tahan Sinter terhadap Densitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 pada T 600 °C dan Variasi Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %.

Nilai densitas sinter meningkat dengan adanya peningkatan waktu tahan sinter. Peningkatan waktu tahan sinter menyebabkan semakin besarnya pertumbuhan leher (*neck growth*) antara dua partikel yang saling berhubungan mengakibatkan pori-pori antarpartikel menjadi halus. Dengan demikian, ikatan antarpartikel menjadi tinggi dan densitasnya semakin meningkat. Selain itu penuangan campuran serbuk kedalam cetakan memungkinkan terjebaknya udara atau pelumas dan akan menjadi porositas. Perlakuan waktu tahan akan mampu berperan untuk memberikan energi kepada partikel-partikel serbuk yang terdeformasi sepanjang proses kompaksi untuk melepaskan tegangan sisa dan

meminimalkan porositas yang terjadi melalui penguapan gas/pelumas selama masa tahan sinter diberikan.

Meskipun selalu terjadi kenaikan densitas akibat penambahan waktu tahan sinter, perlu diamati bahwa kenaikan densitas tidak terjadi secara linear. Sebagai contoh, pada fraksi volume penguat Al_2O_3 10 %, terjadi kenaikan densitas sebesar $0,007 \text{ gr/cm}^3$ dari waktu tahan 6 jam ke 8 jam, dan kenaikan densitas yang terjadi pada kenaikan waktu tahan dari 8 jam ke 10 jam adalah sebesar $0,008 \text{ gr/cm}^3$. Sedangkan pada fraksi volume penguat Al_2O_3 20 %, kenaikan densitas dari 6 jam ke 8 jam adalah 0,017 dan kenaikan densitas dari 8 jam ke 10 jam adalah sebesar 0,034. Namun demikian kenaikan densitas yang terjadi dari 8 jam ke 10 jam lebih besar dari pada kenaikan densitas dari 6 jam ke 8 jam. Hal ini dapat terjadi karena semakin besarnya pertumbuhan leher (*neck growth*) antara dua partikel yang saling berhubungan mengakibatkan peningkatan densitas.

Selain waktu tahan sinter, densitas sinter komposit juga dipengaruhi oleh fraksi volume penguat Al_2O_3 seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap Densitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 pada T 600 °C dan variasi waktu tahan sinter 6, 8, dan 10 jam.

Dari Gambar 4.2 ini terlihat bahwa semakin tinggi fraksi volume Al_2O_3 maka akan semakin tinggi densitas komposit Al/SiC-Al/ Al_2O_3 . Kecenderungan ini terjadi pada semua variabel waktu tahan. Peningkatan densitas sinter komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 terjadi seiring dengan penambahan fraksi volume

penguat Al_2O_3 . Peningkatan densitas komposit laminat hybrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 seiring dengan penambahan fraksi volume penguat SiC/ Al_2O_3 terjadi akibat kemampuan penyerapan panas yang lebih banyak sepanjang proses sinter oleh komposit dengan fraksi volume penguat lebih banyak dibandingkan pada komposit laminat hybrid dengan fraksi volume penguat lebih sedikit. Penyerapan energi panas ini akan membantu proses difusi antar lapisan yang akan meningkatkan kualitas ikatan antar lapisan. Selain itu, penambahan fraksi volume penguat Al_2O_3 akan menyebabkan distribusi yang semakin homogen yang pada akhirnya akan meningkatkan derajat laminasi antar lapisan komposit dan secara makroskopik akan meningkatkan densitas komposit laminat hybrid.

Hal yang sama pada peningkatan waktu tahan sinter, yaitu kenaikan densitas yang terjadi akibat penambahan fraksi volume penguat Al_2O_3 tidak terjadi secara linear. Namun, jika dibandingkan dengan pengaruh waktu tahan sinter, maka pengaruh fraksi volume Al_2O_3 lebih signifikan dalam meningkatkan densitas bakalan. Sebagai contoh, pada fraksi volume Al_2O_3 30%, peningkatan yang terjadi dari waktu tahan 6 jam ke 8 jam adalah sebesar 0,002, dan dari 8 jam ke 10 jam terjadi peningkatan 0,02. Sedangkan pada waktu tahan 10 jam, peningkatan densitas dari 10% Vf ke 20% Vf adalah 0,092, dari 20% ke 30% sebesar 0,65, dan pada 30% ke 40% sebesar 0,070. Jadi, peningkatan fraksi volume penguat Al_2O_3 sebesar 10% akan meningkatkan densitas dengan lebih signifikan dari pada kenaikan waktu tahan sebesar 2 jam.

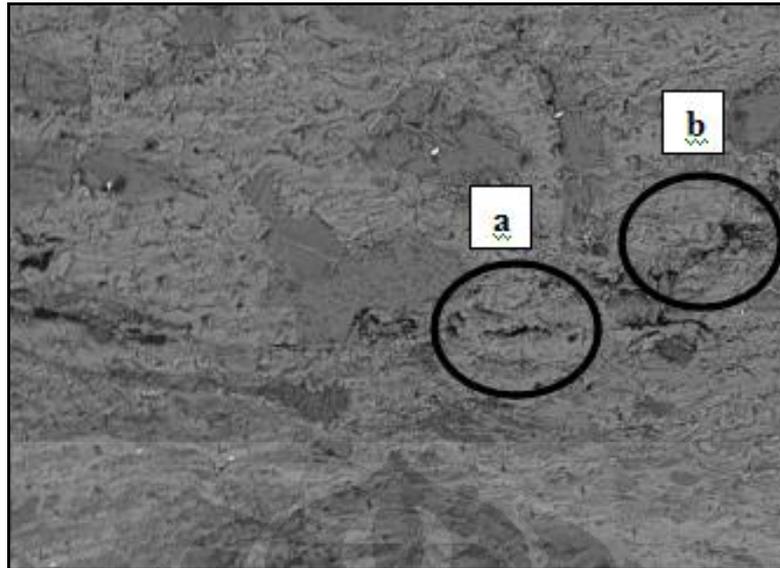
4.2 Pengaruh Waktu Tahan Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 terhadap Porositas Komposit Laminat Hybrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Proses pembuatan komposit laminat hybrid dengan metode metalurgi serbuk akan memungkinkan terjadinya porositas pada bakalan. Porositas adalah lubang yang terjadi pada bakalan akibat adanya gas atau pelumas yang terperangkap. Pada komposit laminat hybrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 porositas dapat terjadi pada daerah antarmuka matriks dan penguat dan pada daerah laminasi antar lapisannya. Hal ini dikarenakan oleh adanya udara yang terperangkap diantara partikel serbuk, yang dapat terjadi pada saat proses penimbangan serbuk, pencampuran serbuk, atau saat penuangan serbuk ke dalam cetakan. Selain itu

juga dapat disebabkan oleh terjebaknya pelumas yang digunakan selama proses kompaksi dan proses difusi yang tidak sempurna selama proses sinter.

Proses sinter pada penelitian ini digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik bakalan dengan meningkatkan densitasnya. Proses sinter pada komposit laminat hibrid ini dilakukan pada temperatur 600 °C, dengan temperatur *pre sinter* sebesar 200 °C selama 1 jam dan 400 °C selama 1 jam. Selain untuk mencegah terjadinya *thermal shock* pada bakalan, pada proses *pre sinter* ini juga diharapkan terjadinya penguapan pelumas yang terjebak selama proses kompaksi. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa peningkatan densitas sepanjang proses sinter terjadi karena adanya proses pelepasan gas dan pelumas yang terperangkap, penurunan porositas dan tumbuhnya leher (*neck growth*) antar permukaan partikel serbuk melalui proses difusi.

Ikatan antarmuka (*interface*) sangat berpengaruh terhadap kualitas dari komposit laminat hibrid yang dihasilkan. Hal ini karena antarmuka merupakan media untuk mentransfer tegangan dari matriks ke penguat. Dalam hal ini, terdapatnya porositas akan merugikan. Jika terdapat porositas pada komposit baik yang terletak antar partikel matriks-penguat maupun antar lamina seperti yang terlihat pada Gambar 4.3, maka akan menyebabkan terhalangnya pembentukan ikatan antar partikel baik saat proses kompaksi maupun saat proses sinter. Selain itu, porositas juga akan menjadi pusat konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan menurunnya kemampuan material dalam menahan beban dari luar dan memicu terjadinya retak. Jadi, kehadiran porositas ini akan dapat menurunkan kualitas dari komposit laminat hibrid yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Porositas yang terjadi pada daerah laminasi (a) dan daerah antarmuka partikel serbuk (b) pada komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, waktu tahan 8 jam, 40% Vf SiC, 10% Vf Al₂O₃

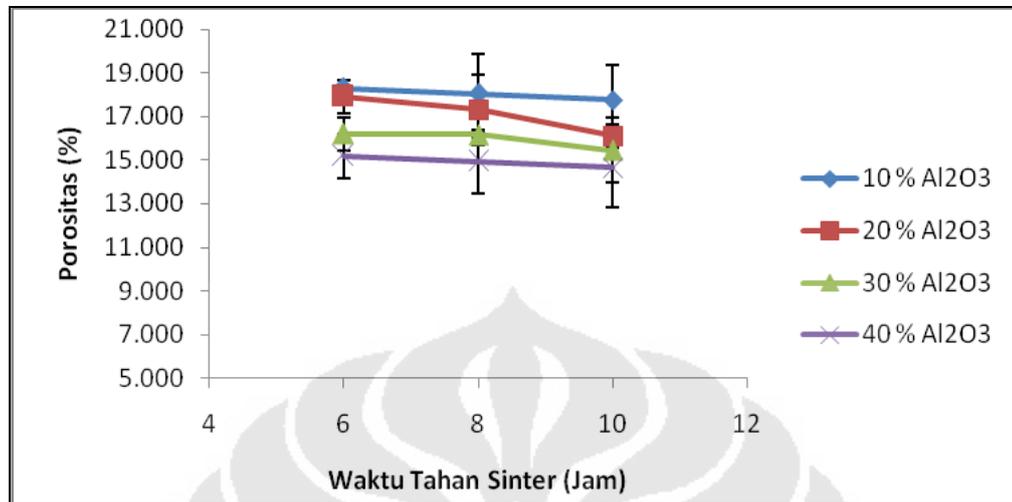
Pada penelitian ini, hasil perhitungan dari porositas komposit laminat hibrid dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Porositas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Waktu tahan Sinter (jam)	Vf Penguat (%)		Porositas Rata-rata (%)
	SiC	Al ₂ O ₃	
6	40	10	18,283
	40	20	17,906
	40	30	16,202
	40	40	15,191
8	40	10	18,032
	40	20	17,310
	40	30	16,156
	40	40	14,921
10	40	10	17,746
	40	20	16,105
	40	30	15,456
	40	40	14,650

Seperti halnya pada densitas, dari Tabel 4.2 terlihat bahwa pada waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ yang berbeda, maka porositas yang terjadi juga berbeda. Pengaruh waktu tahan sinter terhadap porositas komposit

laminat hibrid pada variasi fraksi volume penguat Al_2O_3 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Waktu Tahan Sinter terhadap Porositas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 pada T 600 °C dan variasi fraksi volume penguat Al_2O_3 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %.

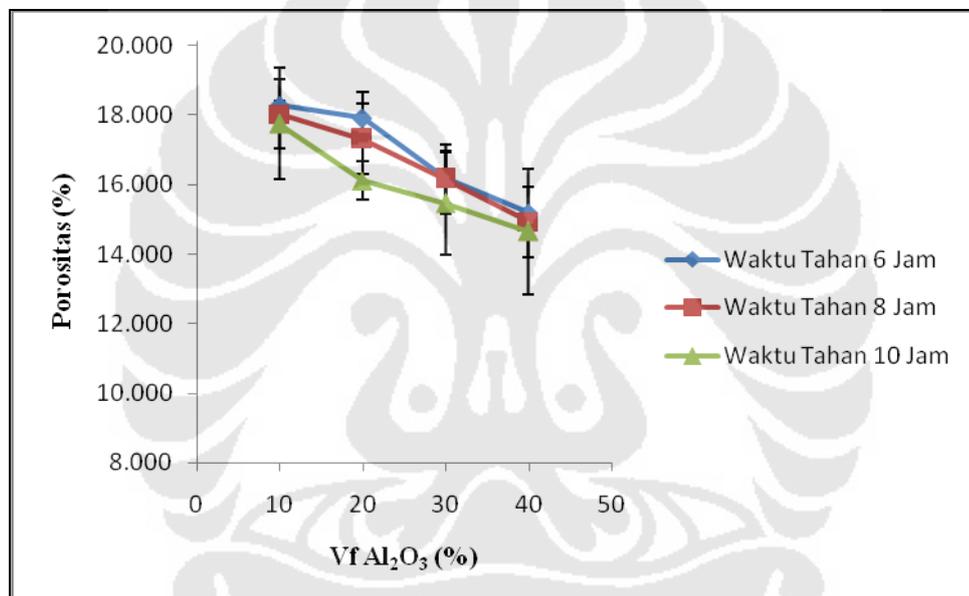
Berbeda dengan densitas sinter, pada Gambar 4.4 terlihat bahwa pada fraksi volume Al_2O_3 10 % terjadi penurunan porositas dari 18,283 % saat waktu tahan 6 jam menjadi 18,032 % pada waktu tahan 8 jam dan terus menurun pada waktu tahan 10 jam menjadi 17,746 %. Begitu juga pada fraksi volume Al_2O_3 20 %, 30 %, dan 40 %, porositas komposit menurun seiring dengan peningkatan waktu tahan sinter. Porositas tertinggi berada pada waktu tahan sinter 6 jam dan fraksi volume penguat Al_2O_3 10 %, yaitu sebesar 18,283 %. Sedangkan porositas sinter terendah dicapai pada waktu tahan 10 jam dan fraksi volume penguat Al_2O_3 40 % yaitu sebesar 14,650 %. Dapat disimpulkan bahwa porositas berbanding terbalik dengan densitas sinter komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 . Semakin tinggi densitas sinter, maka porositas yang terjadi semakin sedikit.

Dalam hubungannya dengan porositas, waktu tahan sinter sangat mempengaruhi penyusutan dan pengurangan porositas yang terdapat pada material komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 . Penyusutan pori merupakan hal yang penting dalam proses sinter, dalam proses ini material solid ditransportasikan ke dalam pori dan pada saat yang sama gas-gas yang terjebak dihilangkan, sehingga semakin lama waktu tahan sinter maka difusi massa yang

terjadi akan semakin baik. Hal ini akan berakibat pada peningkatan densitas dan penurunan porositas sintering.

Pengaruh waktu tahan sinter terhadap pengurangan porositas juga dapat dijelaskan dengan adanya pembentukan fasa bersifat meningkatkan kualitas ikatan antar partikel serbuk maupun antar lapisan komposit laminat hibrid. Dari hasil pengujian XRD terlihat terbentuk fasa *spinel* $MgAl_2O_4$ yang dapat meningkatkan kemampuan pembasahan antara matriks dan penguat.

Selain waktu tahan sinter, porositas komposit juga dipengaruhi oleh fraksi volume penguat Al_2O_3 seperti yang terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap Porositas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 pada T 600 °C dan variasi waktu tahan sinter 6, 8, dan 10 jam

Pada komposit laminat hibrid ini, fraksi volume SiC dibuat tetap dan fraksi volume Al_2O_3 divariasikan dari 10%, 20%, 30%, dan 40%. Dari gambar 4.5 dapat dilihat bahwa porositas semakin menurun seiring dengan bertambahnya fraksi volume Al_2O_3 , dan hal ini terjadi pada seluruh variasi waktu tahan, dari 6, 8, hingga 10 jam.

Penurunan porositas pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 seiring dengan penambahan fraksi volume penguat Al_2O_3 ini terjadi akibat ikatan antarpartikel yang semakin baik. Dengan demikian, densitas menjadi tinggi dan

porositasnya semakin menurun. Sama halnya dengan densitas sinter, hubungan penurunan porositas dengan adanya kenaikan fraksi volume penguat Al_2O_3 tidak bersifat linier. Meskipun secara keseluruhan selalu terjadi penurunan porositas, namun persentase penurunannya berbeda-beda. Hal ini dikarenakan banyaknya faktor-faktor lain yang mempengaruhi porositas dan densitas sinter dari bakalan, seperti distribusi dan ukuran partikel, proses pencampuran, dan sebagainya.

4.3 Pengaruh Waktu Tahan Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 terhadap Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

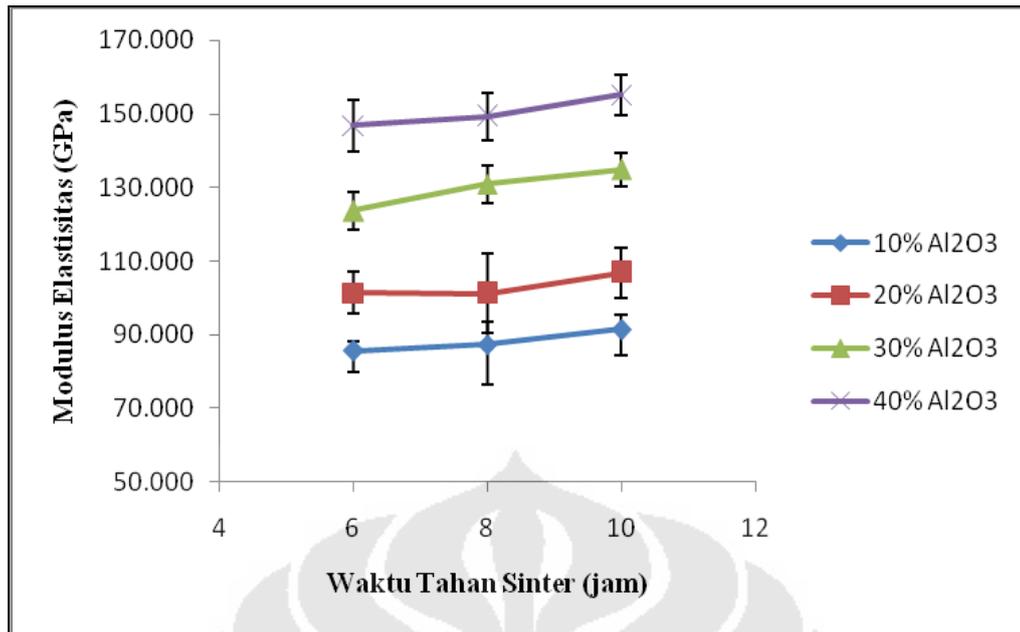
Sifat mekanik komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 sangat ditentukan oleh kualitas ikatan antarmuka, baik antara partikel penguat SiC dan Al_2O_3 terhadap matriks aluminium maupun ikatan antara lapisan komposit isotropik Al/SiC dengan komposit isotropik Al/ Al_2O_3 . Tentu saja diperlukan suatu pengujian kekuatan ikatan untuk mengukur kekuatan ikatan yang terjadi. Kualitas ikatan ini diukur secara mekanik berdasarkan nilai modulus elastisitasnya. Modulus elastisitas menyatakan nilai kekakuan (*stiffness*) suatu bahan. Kekakuan adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk deformasi. Nilai modulus elastisitas yang tinggi dapat menjadi indikator bahwa kualitas ikatan antarmuka yang terjadi pada komposit berkualitas baik sehingga transmisi tegangan luar yang diberikan dapat berlangsung dengan baik antara matriks dan penguat.

Pada penelitian ini, dilakukan pengujian *three point bending* untuk mendapatkan modulus elastisitas dari sampel yang dibuat. Dari proses pengujian ini, di dapatkanlah nilai pembebanan dan defleksi yang terjadi, sehingga dapat dihitung modulus elastisitas dari sampel yang telah di uji. Hasil pengujian modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Waktu tahan Sinter (jam)	Vf Penguat (%)		E Rata-rata (GPa)
	SiC	Al ₂ O ₃	
6	40	10	85,569
	40	20	101,279
	40	30	123,608
	40	40	146,793
8	40	10	87,379
	40	20	101,227
	40	30	130,936
	40	40	149,268
10	40	10	91,384
	40	20	106,777
	40	30	134,919
	40	40	155,148

Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa pada waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ yang berbeda, maka modulus elastisitas dari komposit laminat hibrid juga berbeda. Dapat disimpulkan bahwa waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ memberikan pengaruh terhadap modulus elastisitas yang diperoleh di penelitian ini. Pengaruh waktu tahan sinter terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid pada variasi fraksi volume penguat Al₂O₃ 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 % dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Pengaruh Waktu Tahan Sinter terhadap Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ pada T 600 °C dan Variasi Fraksi Volume Penguat Al₂O₃ 10 %, 20 %, 30 %, dan 40 %.

Sinter merupakan suatu proses perlakuan panas dengan pemberian temperatur di bawah titik leleh suatu material solid atau bakalan serbuk. Pemberian temperatur ini mengakibatkan terjadinya reaksi kimia atau difusi atomik. Tahapan proses sinter berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, salah satunya adalah waktu tahan sinter. Pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, dengan 40% Vf SiC dibuat tetap, Temperatur 600°C, fraksi volume penguat Al₂O₃ 10%, waktu tahan 6 Jam, nilai modulus elastisitasnya sebesar 85,569 GPa, dan meningkat pada waktu tahan 8 jam menjadi 87,379 GPa, dan terus meningkat pada waktu tahan 10 jam menjadi 91,384 GPa.

Peningkatan nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ akibat pengaruh waktu tahan sinter dapat dijelaskan dengan proses difusi yang terjadi sepanjang sinter. Difusi pada dasarnya adalah transport massa akibat adanya gaya penggerak baik perbedaan konsentrasi maupun akibat termal. Ada dua mekanisme transport massa yang terjadi sepanjang proses sinter, yaitu transport permukaan (*surface transport*) dan transport ruah (*bulk transport*). Kedua jenis transport ini terjadi pada daerah antarmuka serbuk matriks dan

penguat maupun pada daerah antarmuka lapisan pada sistem komposit laminat hibrid. Mekanisme transport permukaan merupakan awal dari terbentuknya *neck growth*. Berbagai metode transport pada dasarnya dapat menumbuhkan *necking* sehingga terjadi penyusutan porositas, dan peningkatan densitas. Dengan adanya peningkatan densitas dan penurunan porositas, maka sifat mekanik yang dihasilkan, dalam hal ini modulus elastisitas, juga akan semakin baik. Hal ini dikarenakan dengan sedikitnya porositas yang ada, maka transfer beban dari matriks ke penguat akan semakin baik. Selain itu, porositas juga dapat menjadi pusat konsentrasi tegangan yang dapat memicu terjadinya retak pada komposit laminat hibrid.

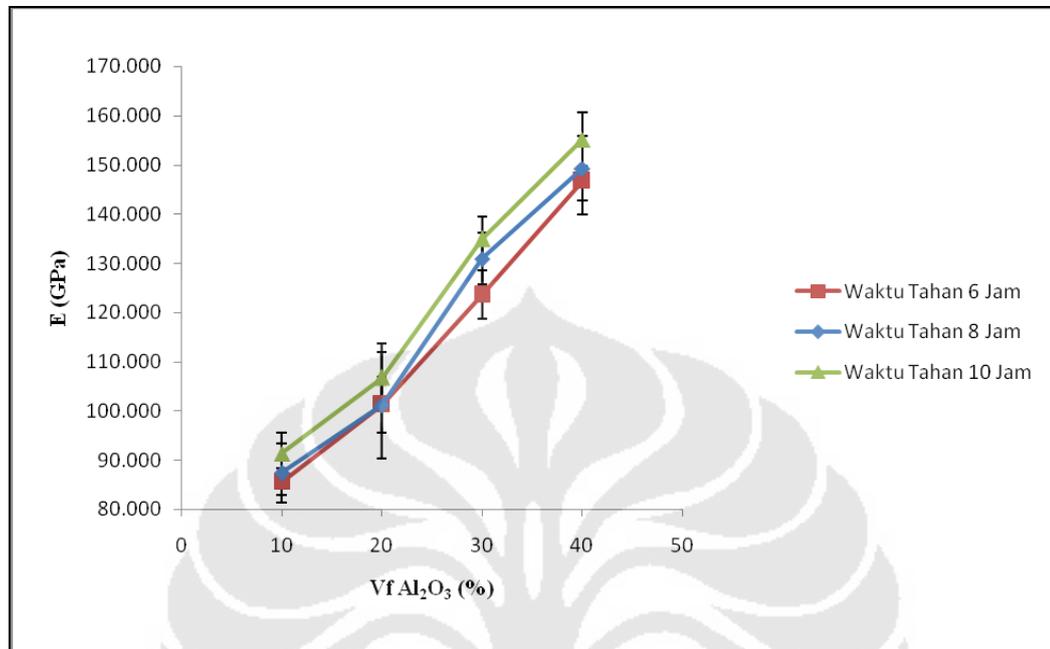
Pada sistem komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ transfer tegangan tidak hanya terjadi antara matriks aluminium dengan penguat SiC maupun Al₂O₃ namun juga terjadi antar lapisan pertama (Al/SiC) dengan lapisan kedua (Al/Al₂O₃) sehingga perlu diketahui pengaruh fraksi volume penguat terhadap transfer tegangan yang tidak hanya dipengaruhi oleh antarmuka partikel serbuk namun juga oleh antarmuka lapisan komposit laminat hibrid.

Fraksi volume penguat Al₂O₃ telah menyebabkan peningkatan densitas dan menurunkan porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, dan dari Tabel 4.3 terlihat bahwa fraksi volume penguat Al₂O₃ memberikan pengaruh terhadap modulus elastisitas. Perlu diketahui disini, seberapa besar pengaruh fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap sifat mekanik komposit yang dinyatakan dengan nilai modulus elastisitas yang di dapatkan melalui pengujian *bending*.

Ikatan antarmuka pada komposit laminat hibrid ada dua macam, yang pertama adalah ikatan antarmuka yang terjadi pada matriks-penguat dan yang kedua adalah antarmuka lamina pertama dengan lamina kedua. Jika ikatan antara lamina pertama dengan lamina kedua berkualitas baik maka pembebanan luar yang diberikan pada komposit pada awalnya akan merusak matriks, ikatan antara matriks dan penguat dan terakhir akan merusak ikatan antar lapisan lamina.

Pada dasarnya penambahan fraksi volume penguat Al₂O₃ pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ bertujuan untuk meningkatkan kekuatan sehingga diperlukan penentuan fraksi volume yang menyebabkan penguatan optimum pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃. Dalam sistem komposit laminat hibrid

Al/SiC-Al/Al₂O₃, pengaruh fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap modulus elastisitas dapat diamati Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Pengaruh fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ pada T 600 °C dan variasi waktu tahan sinter 6, 8, dan 10 jam.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ mengalami peningkatan seiring peningkatan fraksi volume penguat Al₂O₃ pada Vf SiC tetap 40%. Pada 40% Vf SiC dibuat tetap, T 600°C, waktu tahan 6 Jam, nilai modulus elastisitas terendah dicapai saat 10% Vf Al₂O₃ yaitu sebesar 85,569 GPa. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi dicapai saat 40% Vf Al₂O₃ yaitu sebesar 146,793 GPa.

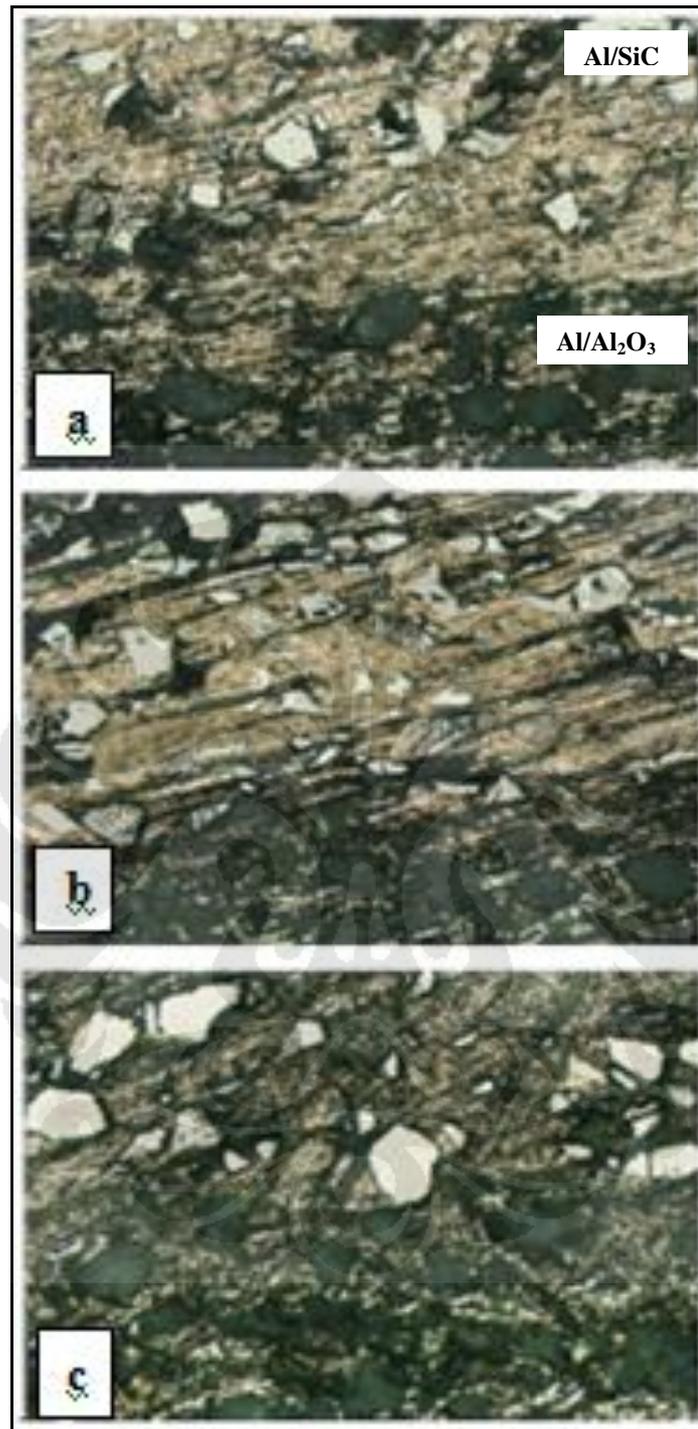
Semakin tinggi fraksi volume Al₂O₃ maka akan semakin tinggi modulus elastisitas komposit Al/SiC-Al/Al₂O₃. Kecenderungan ini terjadi pada semua variabel waktu tahan. Peningkatan modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ seiring dengan penambahan fraksi volume penguat Al₂O₃ ini terjadi akibat meningkatnya kualitas ikatan antar lapisan yang pada akhirnya akan meningkatkan modulus elastisitas komposit tersebut.

Seperti halnya dalam densitas dan porositas, jika dibandingkan dengan pengaruh waktu tahan sinter, maka pengaruh fraksi volume Al₂O₃ lebih signifikan

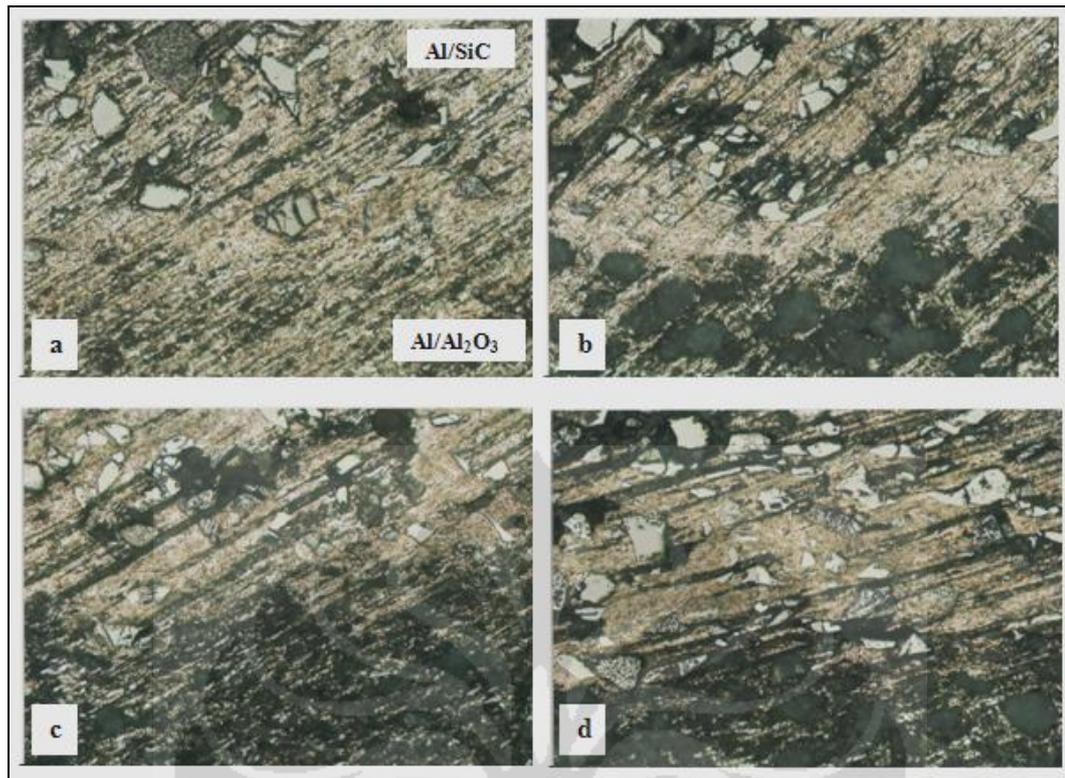
dalam meningkatkan modulus elastisitas dari komposit laminat hibrid. Jadi, peningkatan fraksi volume penguat Al_2O_3 sebesar 10% akan meningkatkan modulus elastisitas dengan lebih signifikan dari pada kenaikan waktu tahan sebesar 2 jam. Secara keseluruhan, modulus elastisitas terendah dicapai saat waktu tahan 6 jam 10% Vf Al_2O_3 yaitu sebesar 85,569 Gpa, sedangkan modulus elastisitas tertinggi dicapai saat waktu tahan 10 jam 40% Vf Al_2O_3 yaitu sebesar 155,148 GPa.

4.4 Pengaruh Waktu Tahan Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 terhadap Struktur Mikro Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Struktur mikro merupakan salah satu hal yang menentukan sifat dari suatu material. Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu tahan terhadap struktur mikro komposit laminat hibrid, seperti pada Gambar 4.8. Pada gambar tersebut terlihat perbedaan mikrostruktur dengan adanya kenaikan waktu tahan dari 6, 8, dan 10 jam. Besar butir cenderung semakin meningkat dengan kenaikan waktu tahan. Hal ini dikarenakan adanya mekanisme pengikatan antara dua partikel dan juga adanya proses difusi yang membentuk butir dengan ukuran yang lebih besar. Hal ini mendukung pembahasan sebelumnya yaitu dengan adanya peningkatan waktu tahan, maka pertumbuhan butir menyebabkan porositas menurun dan meningkatkan densitas, serta pada akhirnya akan meningkatkan modulus elastisitas.



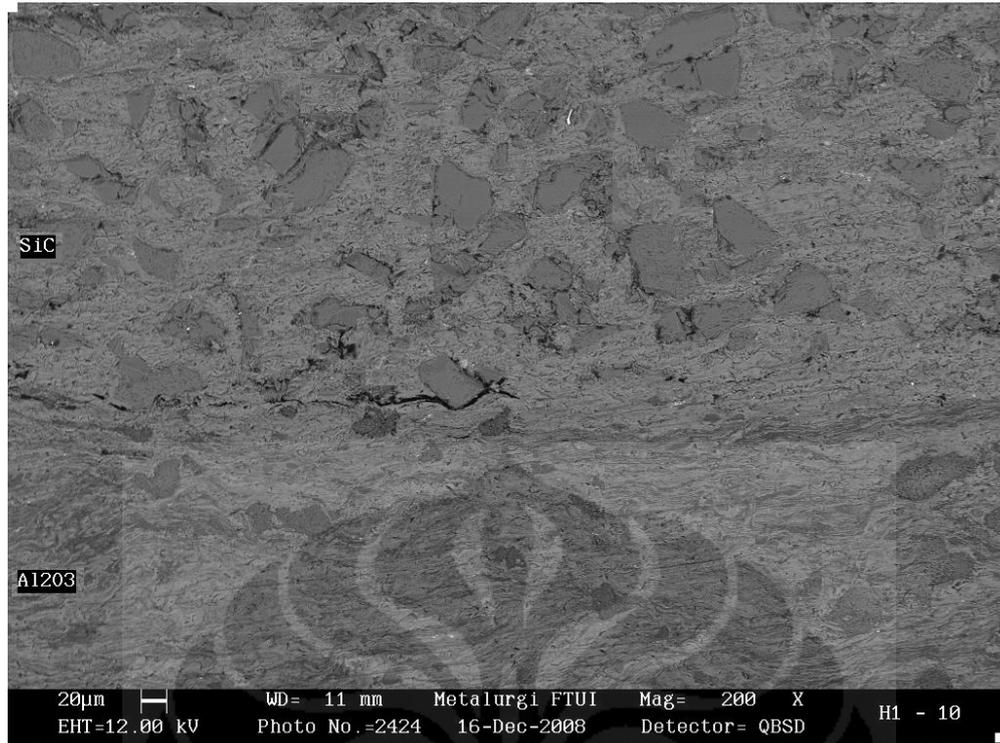
Gambar 4.8 Struktur Mikro Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ Perbesaran 100 X, 40% Vf SiC, Temperatur 600°C, 40% Vf Al₂O₃, waktu tahan 6 jam (a), 8 jam (b), dan 10 jam (c).



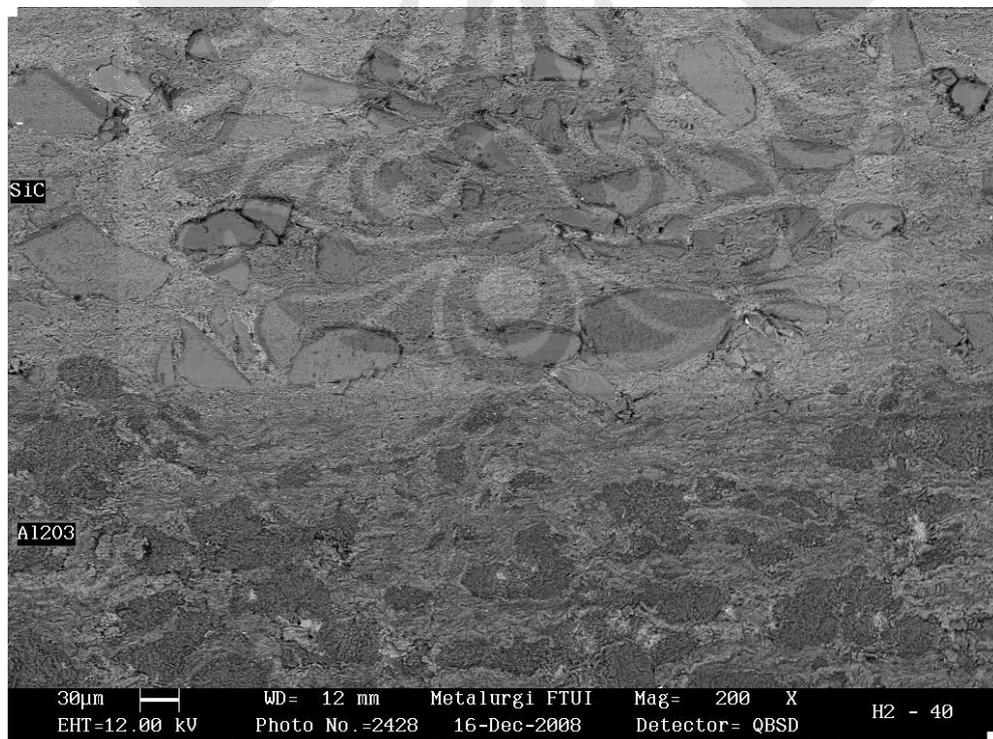
Gambar 4.9 Struktur Mikro Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, 40% Vf SiC, Temperatur 600°C, Waktu Tahan 10 Jam, 10% Vf Al₂O₃(a), 20% Vf Al₂O₃(b), 30% Vf Al₂O₃(c), 40% Vf Al₂O₃(d)

Selain itu diamati pula pengaruh fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap struktur mikro komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃. Dari Gambar 4.9 diatas dapat dilihat bahwa dengan adanya kenaikan fraksi volume penguat Al₂O₃, maka semakin homogen persebaran dari penguat tersebut, dan terlihat jelasnya konsentrasinya semakin tinggi. Distribusi penguat yang homogen akan meningkatkan kualitas dari komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ karena semua sifat merata, tidak terjadi konsentrasi tegangan pada tempat tertentu.

Untuk pengamatan dengan menggunakan SEM, hanya diambil dari dua sampel, yang memiliki fraksi volume penguat Al₂O₃ yang berbeda, dan waktu tahan yang berbeda. Hal ini dikarenakan hasil pada pengujian densitas, porositas, dan modulus elastisitas, serta pengamatan dengan mikroskop optik yang telah dilakukan sebelumnya, menunjukkan kecenderungan yang sesuai dengan literatur sehingga sampel yang diambil untuk pengamatan SEM dianggap cukup mewakili untuk melihat pengaruh waktu tahan sinter dan fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap struktur mikro komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃.



Gambar 4.10 Struktur Mikro Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, 40% Vf SiC, 10% Vf Al₂O₃, Temperatur 600°C, Waktu Tahan 8 Jam



Gambar 4.11 Struktur Mikro Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, 40% Vf SiC, 40% Vf Al₂O₃, Temperatur 600°C, Waktu Tahan 10 Jam

Gambar 4.10 atau sampel pertama adalah komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dengan fraksi volume penguat Al₂O₃ 10% waktu tahan 8 jam. Sedangkan Gambar 4.11 atau sampel kedua adalah komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dengan fraksi volume penguat Al₂O₃ 40% dan waktu tahan 10 jam.

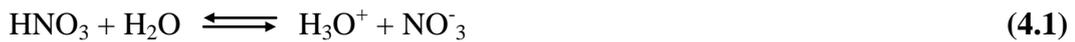
Pada Gambar 4.10 dan 4.11 tampak jelas pengaruh waktu tahan terhadap mikrostruktur. Dalam hal ini dapat dilihat pada lamina bagian atas atau komposit Al/SiC, karena keduanya memiliki fraksi volume yang sama. Partikel penguat SiC pada waktu tahan 8 jam tampak lebih kecil, dan lebih tajam dari pada partikel penguat SiC pada waktu tahan 10 jam. Ini menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan waktu tahan, terjadi pertumbuhan ukuran butir partikel serta bentuknya yang semakin tumpul. Selain itu, pada waktu tahan yang lebih lama yaitu 10 jam, daerah antar lamina semakin bagus, dan tidak terlihat adanya poros seperti yang terlihat pada waktu tahan 8 jam. Hal ini mendukung pembahasan sebelumnya, yaitu bahwa dengan meningkatnya waktu tahan maka ikatan antar partikel yang terjadi akan semakin baik, yang pada akhirnya akan dapat meningkatkan densitas dan modulus elastisitas, serta menurunkan porositas komposit laminat hibrid ini.

Selain itu pada gambar juga dapat diamati pengaruh fraksi volume penguat terhadap mikrostruktur. Pada Gambar 4.11 dengan 40% fraksi volume penguat Al₂O₃, jumlahnya jauh lebih banyak dan persebarannya lebih homogen dibandingkan dengan gambar 4.10 dimana hanya 10% fraksi volume penguat Al₂O₃. Persebaran partikel yang lebih homogen akan meningkatkan kualitas dari komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ seperti yang dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

4.5 Pengamatan Fasa pada Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Antarmuka (*Interface*) pada matriks-penguat merupakan bagian yang sangat penting pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃. Untuk meningkatkan kekuatan antarmuka antara matriks-penguat pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, maka pada penelitian ini dilakukan proses *electroless plating* pada partikel penguat dengan menimbulkan oksida logam tipis, yang

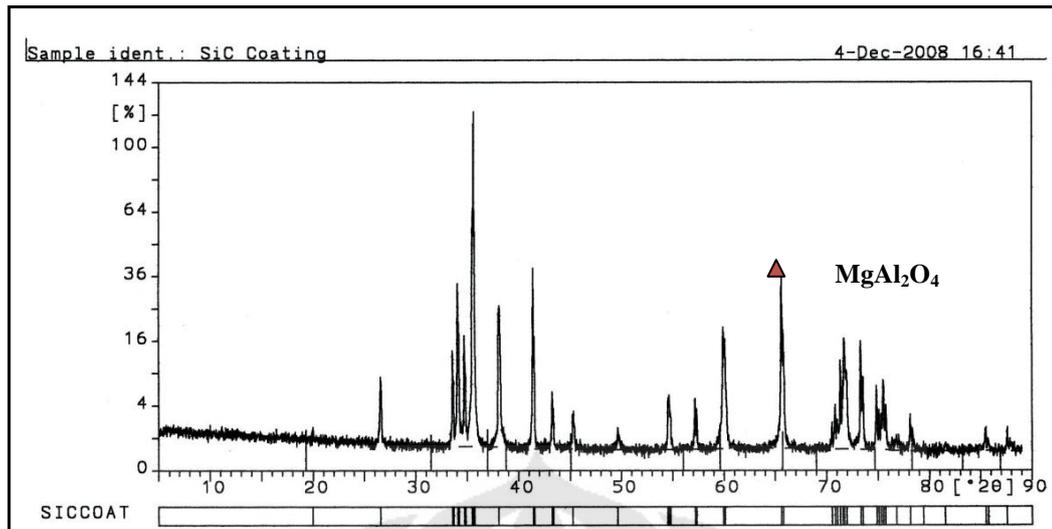
berperan sebagai pengikat. *Electroless plating* yang dilakukan terhadap partikel SiC dan Al₂O₃ adalah pelapisan MgAl₂O₄ (*spinel*). Lapisan MgAl₂O₄ dibuat dengan cara melarutkan serbuk Mg dan Al ke dalam larutan polar HNO₃. Konsentrasi Mg 0,01 gram dan Al 0,5 gram konstan ke dalam larutan polar HNO₃ 40 ml. Reaksi yang terjadi adalah:



H_{2(g)} yang terbentuk pada reaksi diatas akan menguap karena adanya pemanasan. NO_{3⁻(l)} merupakan sisa asam. Dari sini akan terbentuk larutan elektrolit dengan ion Mg²⁺ dan Al³⁺ yang bergerak bebas. Untuk melakukan *electroless plating*, partikel penguat (SiC dan Al₂O₃) dimasukkan ke dalam larutan elektrolit tersebut sehingga termuati oleh sisa asam NO_{3⁻(l)}, hal ini akan mengakibatkan terjadinya gaya elektrostatis antar ion-ion Mg²⁺, Al³⁺ dan SiC atau Al₂O₃ yang telah termuati oleh NO_{3⁻(l)} dan akhirnya akan terbentuk lapisan *spinel* MgAl₂O₄, sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab 2.

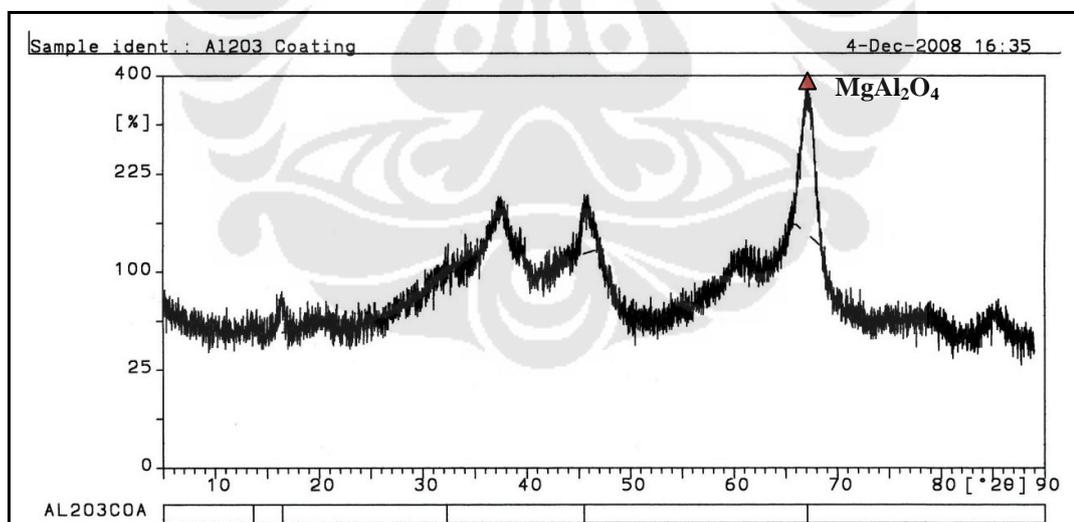


Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian fasa dengan menggunakan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Pada pengujian XRD untuk partikel penguat yang telah dilapisi, terbentuk adanya fasa *spinel* MgAl₂O₄. dimana fasa *spinel* inilah yang akan membantu meningkatkan kualitas ikatan antara matriks dan penguat. Hasil pengujian XRD pada partikel penguat SiC dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Pengujian XRD pada Partikel SiC

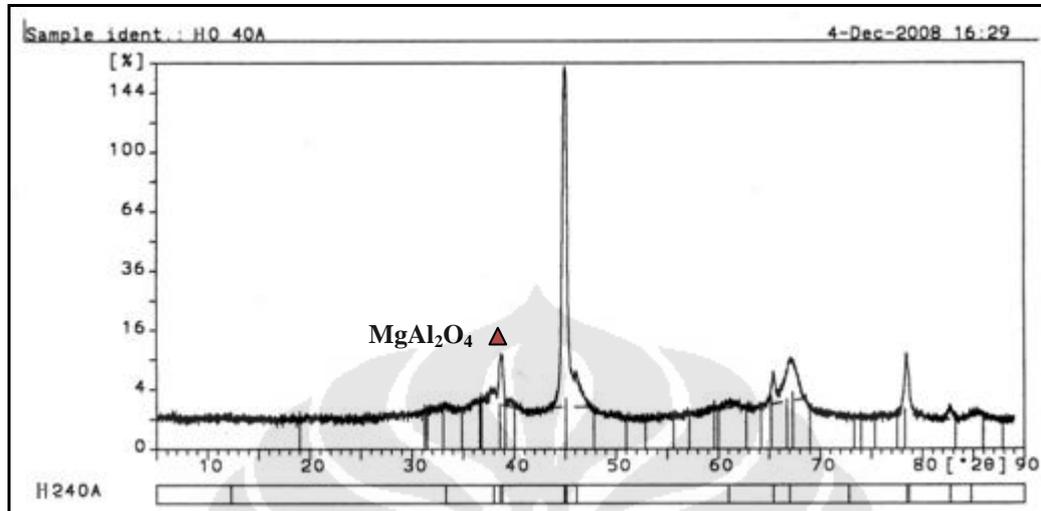
Hasil pengujian XRD untuk partikel penguat Al_2O_3 dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pengujian ini menunjukkan keberhasilan proses *electroless plating*, yaitu terbentuknya fasa spinel pada partikel penguat Al_2O_3 .



Gambar 4.13 Pengujian XRD pada Partikel Al_2O_3

Dengan adanya fasa *spinel* yang terbentuk, maka akan meningkatkan kemampubasahan, sehingga ikatan yang terjadi akan semakin kuat, dan akhirnya akan meningkatkan densitas dan modulus elastisitas, serta menurunkan porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 . Hasil pengujian XRD pada sampel

dengan 40% Vf Al_2O_3 , temperatur 600°C , waktu tahan 6 jam juga menunjukkan terbentuknya fasa spinel, seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengujian pada XRD Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 , 40% Vf SiC dan 40% Vf Al_2O_3 Temperatur 600°C , Waktu Tahan 6 Jam