

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Densitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Penelitian ini, merupakan penelitian mengenai material komposit laminat dengan penguat yang berbeda atau disebut juga komposit laminat hibrid. Pada komposit laminat hibrid ini, digunakan matriks aluminium dengan dua jenis penguat keramik, yaitu SiC dengan fraksi volume tetap sebesar 40% dan Al₂O₃ dengan variasi fraksi volume sebesar 10%, 20%, 30% dan 40% yang dibuat dengan proses metalurgi serbuk. Serbuk matriks aluminium dicampur dengan serbuk penguat SiC maupun Al₂O₃ kemudian dilaminasi melalui proses kompaksi dan dihasilkan komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃.

Material komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang mempersyaratkan terjadinya ikatan antarmuka diantara keduanya. Telah dijelaskan bahwa untuk meningkatkan keterbasahan dilakukan proses *electroless plating* pada partikel penguat SiC dan Al₂O₃. Proses ini membentuk fasa baru MgAl₂O₄ (lapisan *spinel*) yang mampu meningkatkan aspek keterbasahan karena fasa ini akan menurunkan sudut kontak antarmuka sehingga aspek interaksi interfisial antara matriks dan penguat akan menjadi lebih tinggi [29].

Secara umum, densitas pada proses metalurgi serbuk dibedakan menjadi dua, yaitu densitas sebelum sinter (*green density*) dan densitas sesudah sinter (*sinter density*). *Green density* merupakan densitas yang dicapai setelah proses kompaksi. Pada tahapan kompaksi, partikel-partikel serbuk akan mengalami beberapa tahapan, seperti penataulangan dan penyusunan serbuk, terjadinya deformasi plastis dan elastis, penghancuran dan pemadatan serbuk yang diikuti oleh meningkatnya berat jenis. Densitas ini terbentuk karena adanya ikatan antarmuka partikel akibat kekasaran permukaan (*mechanical interlocking*). Mekanisme pengikatan ini melalui ikatan *cold weld*, yaitu ikatan antara dua permukaan butiran logam yang ditimbulkan oleh gaya kohesi dari serbuk dimana tidak terjadi peleburan dan pengaruh panas [21].

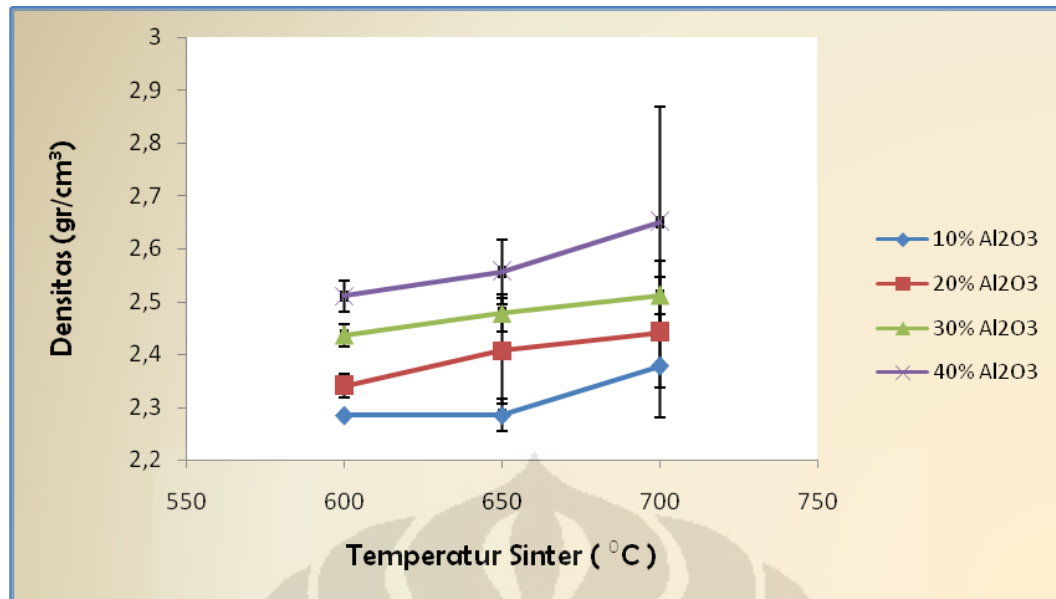
Densitas komposit diperoleh setelah dilakukan proses sinter pada bakalan dan disebut *sinter density*. Di dalam proses metalurgi serbuk, proses sinter memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan sifat dari material. Proses sinter dilakukan melalui beberapa tahapan, mula-mula proses *presinter* yang merupakan proses pemanasan awal agar terjadi penguapan gas yang terjebak dalam porositas serta mencegah terjadinya perbedaan temperatur luar dan tengah dari bahan komposit. Jika terjadi perbedaan temperatur yang sangat tinggi, maka akan terjadi retak (*cracking*) akibat pelepasan ikatan (*debonding*).

Proses sinter menyediakan energi panas untuk pembentukan awal ikatan dan memperbaiki sifat dari material [24]. Pada proses sinter, partikel-partikel berikatan melalui peristiwa transport atom. Proses utama dalam sinter ini adalah reduksi volume karena adanya penyusutan poros dan eliminasi.

Pada penelitian ini, temperatur sinter yang dilakukan terhadap komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ berbeda-beda, dimulai dari 600°C, 650°C dan 700°C dengan waktu tahan konstan selama 6 jam serta proses pendinginan di dalam dapur. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat adanya peningkatan densitas seiring meningkatnya temperatur sinter dan peningkatan ini secara jelas dapat dilihat pada Gambar grafik 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Nilai pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

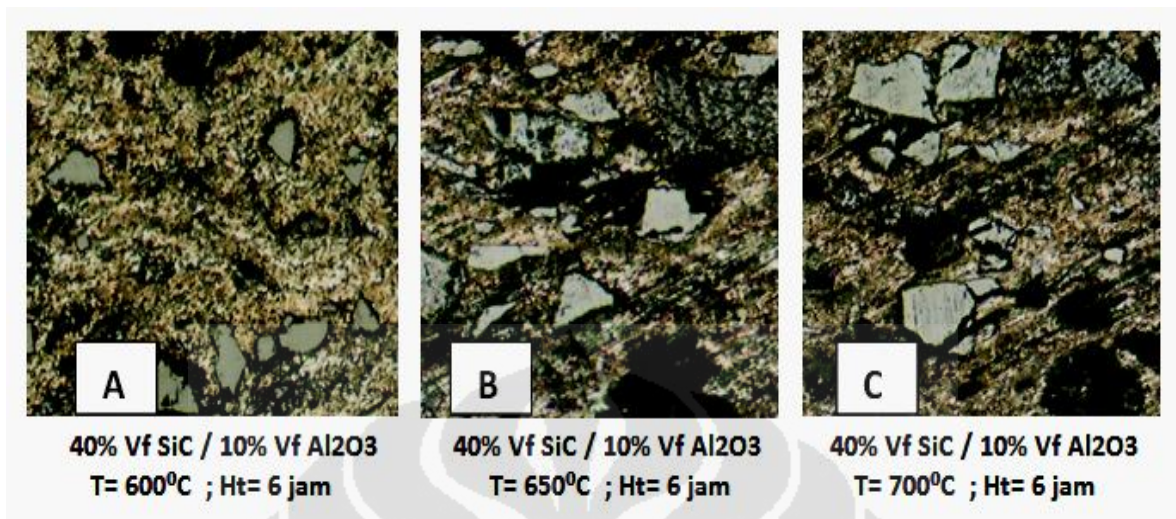
| Vf Al ₂ O ₃ | Temperatur (°C) | Densitas Sinter Rata-rata (gr/cm ³) | Standar Deviasi |
|-----------------------------------|-----------------|---|-----------------|
| 10% | 600 | 2,284 | 0,004 |
| | 650 | 2,285 | 0,031 |
| | 700 | 2,378 | 0,097 |
| 20% | 600 | 2,340 | 0,022 |
| | 650 | 2,407 | 0,100 |
| | 700 | 2,441 | 0,105 |
| 30% | 600 | 2,436 | 0,022 |
| | 650 | 2,478 | 0,036 |
| | 700 | 2,512 | 0,065 |
| 40% | 600 | 2,510 | 0,030 |
| | 650 | 2,556 | 0,062 |
| | 700 | 2,650 | 0,219 |



Gambar 4.1 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.1 di atas, terlihat adanya kecenderungan peningkatan densitas seiring peningkatan temperatur sinter. Terjadi peningkatan densitas saat temperatur sinter 600°C sebesar 2,284 gr/cm³ menjadi 2,285 gr/cm³ saat temperatur sinter 650°C dan 2,378 saat temperatur 700°C. Peningkatan densitas juga terjadi pada 40% Vf SiC, 20% Vf Al₂O₃ pada temperatur 600°C sebesar 2,340 gr/cm³ menjadi 2,407 gr/cm³ pada temperatur sinter 650°C dan 2,441 gr/cm³ saat temperatur 700 °C. Begitu pula pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ pada 40% Vf SiC, 30% Vf Al₂O₃ juga terjadi peningkatan densitas, yaitu 2,436 gr/cm³ pada temperatur 600°C menjadi 2,478 gr/cm³ pada temperatur 650 °C dan 2,512 gr/cm³ pada temperatur 700 °C. Pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ pada 40% Vf SiC, 40% Vf Al₂O₃ juga terjadi peningkatan densitas, yaitu 2,510 gr/cm³ pada temperatur 600°C menjadi 2,556 gr/cm³ pada temperatur 650 °C dan 2,650 gr/cm³ pada temperatur 700 °C.

Pada Gambar 4.2 di bawah ini dapat dilihat perbedaan besar butir dan distribusi penguat akibat perbedaan temperatur sinter.



Gambar 4.2. Mikrostruktur komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dengan menggunakan MO perbesaran 100x

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan berdasarkan Gambar 4.1 serta Gambar 4.2, menunjukkan bahwa peningkatan temperatur sinter juga akan meningkatkan densitas komposit. Hal ini dikarenakan pada proses sinter, partikel-partikel mulai berikatan satu sama lain secara kimia di batas butir dan membentuk leher (*liquid bridge*) sehingga ikatan antarpartikel meningkat dan bahan komposit mengalami densifikasi atau terjadi peningkatan densitas. Selain itu, setelah proses sinter ukuran butir cenderung menghilangkan ukuran butir yang kecil karena terjadi pertumbuhan butir, seperti terlihat pada Gambar 4.2.

Peningkatan densitas yang semakin baik sebanding dengan peningkatan temperatur sinter ini terjadi karena temperatur merupakan salah satu *driving force* proses difusi. Difusi adalah pergerakan atom-atom dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah. Semakin tinggi temperatur maka kecepatan difusinya juga akan semakin tinggi. Hal ini memicu terjadinya difusi antar permukaan partikel penguat dan matriks maupun antar lapisan yang berbeda dari komposit laminat hibrid. Semakin tinggi temperatur, maka *driving force* juga akan semakin besar sehingga daya dorong pertumbuhan butir semakin tinggi pula.

Mekanisme difusi pada intinya merupakan transport massa material sehingga akan mengurangi porositas yang ada dan pada umumnya cenderung

terdapat pada daerah laminasi akibat proses pengerjaan. Jadi, temperatur sinter memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan densifikasi komposit melalui mekanisme difusi antar lapisan pada daerah laminasi dan pengurangan poros. Terlihat dari grafik pada Gambar 4.1 bahwa peningkatan temperatur sinter sebanding dengan peningkatan densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, baik pada komposit dengan Vf Al₂O₃ 10%, 20%, 30% maupun 40%.

4.2 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Porositas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

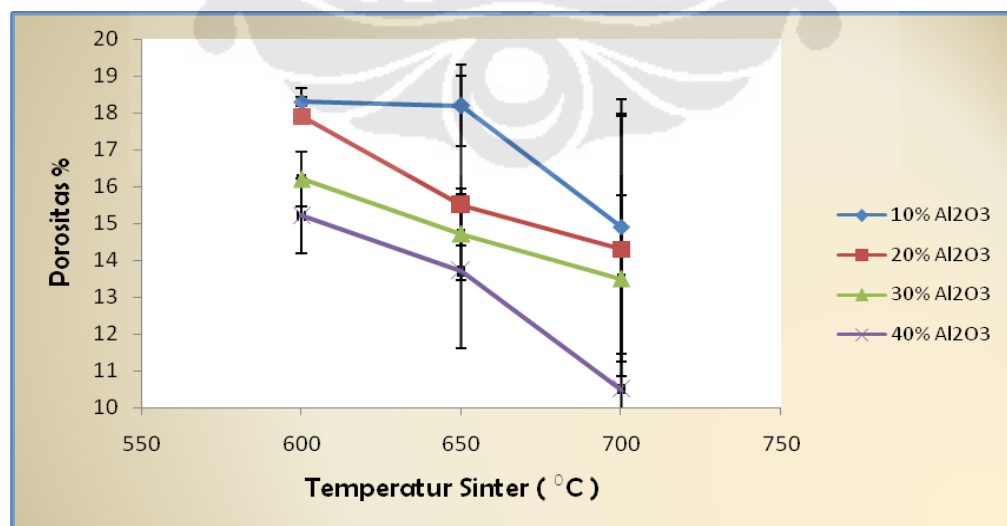
Salah satu kelemahan dengan menggunakan proses metalurgi serbuk dalam proses pembuatan suatu produk, yaitu berat jenis produk metalurgi serbuk yang dicapai hanya 95% berat jenis benda pejal sehingga cenderung memiliki porositas yang tinggi pada produk akhir [21]. Hal ini disebabkan karena sepanjang tahapan proses metalurgi serbuk terdapat kemungkinan adanya udara atau lubrikan yang terjebak diantara partikel serbuk, seperti misalnya saat penimbangan serbuk, pencampuran serbuk dan saat kompaksi. Porositas dapat terjadi akibat terjebaknya lubrikan maupun gas dan terjadinya proses pembentukan leher yang tidak terjadi secara sempurna.

Peningkatan densitas sepanjang sinter terjadi karena proses *degassing* (pelepasan gas/lubrikan dari antar partikel atau dari lapisan komposit laminat), penurunan porositas dan terbentuknya jembatan cair antarpermukaan partikel serbuk melalui proses difusi. Mekanisme difusi melibatkan proses evaporasi, difusi permukaan dan difusi volume. Temperatur merupakan *driving force* proses difusi yang terjadi sepanjang sinter sehingga semakin tinggi temperatur sinter akan memberikan *driving force* yang semakin besar untuk proses difusi. Maka transport massa antarpermukaan partikel serbuk maupun antarlapisan yang terjadi semakin besar dan secara tidak langsung hal ini akan berakibat pada peningkatan densitas dan penurunan porositas. Penurunan porositas akibat dari infiltrasi matriks Al ke dalam ruang-ruang kosong atau pori.

Secara eksperimental pengaruh temperatur sinter terhadap porositas dapat diketahui dari pengamatan data penelitian pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.3 di bawah ini:

Tabel 4.2 Nilai pengaruh temperatur sinter terhadap porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

| Vf Al ₂ O ₃ | Temperatur (°C) | Porositas Sinter Rata-rata (%) | Standar Deviasi |
|-----------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| 10% | 600 | 18,3 | 0,129 |
| | 650 | 18,2 | 1,109 |
| | 700 | 14,9 | 3,459 |
| 20% | 600 | 17,9 | 0,763 |
| | 650 | 15,5 | 3,51 |
| | 700 | 14,3 | 3,679 |
| 30% | 600 | 16,2 | 0,740 |
| | 650 | 14,7 | 1,256 |
| | 700 | 13,5 | 2,250 |
| 40% | 600 | 15,2 | 1,017 |
| | 650 | 13,7 | 2,096 |
| | 700 | 10,5 | 7,400 |



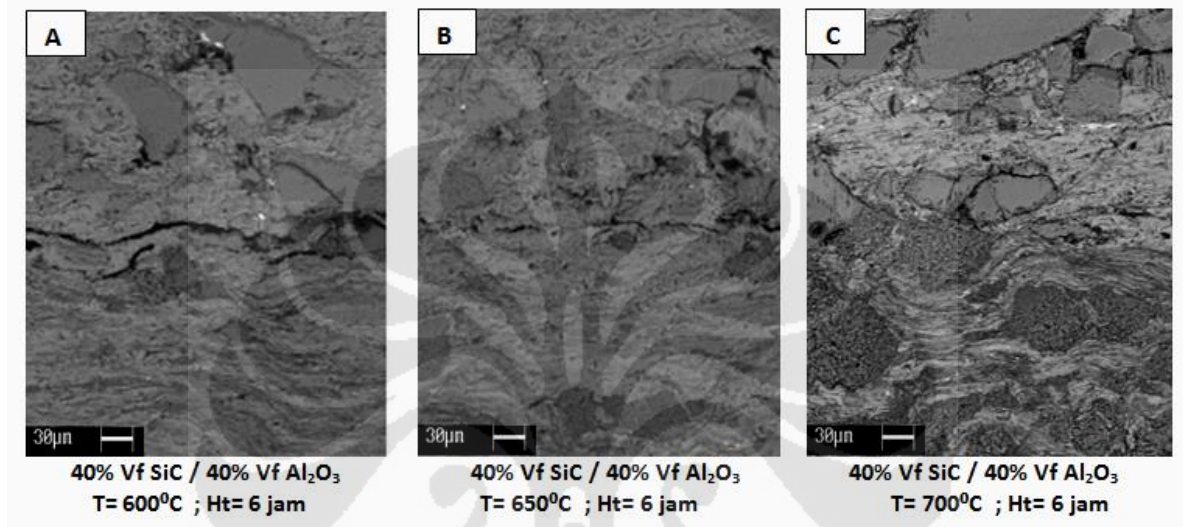
Gambar 4.3 Grafik pengaruh temperatur terhadap porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Pada Gambar 4.3 terlihat terjadi penurunan porositas pada temperatur sinter 600°C sebesar 18,3% menjadi 18,2% pada temperatur sinter 650°C dan 14,9% pada temperatur sinter 700°C pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 dengan 40%Vf SiC, 10%Vf Al_2O_3 . Pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 dengan 40%Vf SiC, 20%Vf Al_2O_3 , juga terjadi penurunan porositas sebesar 17,9% pada temperatur sinter 600°C menjadi 15,5% pada temperatur 650°C dan 14,3% pada temperatur 700°C . Penurunan juga terjadi pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 dengan 10%Vf SiC, 30%Vf Al_2O_3 , yaitu 16,2% pada temperatur sinter 600°C menjadi 14,7% pada temperatur sinter 650°C dan 13,5% pada temperatur sinter 700°C . Hal yang sama juga terjadi pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 dengan 40%Vf SiC, 40%Vf Al_2O_3 , yaitu 15,2% pada temperatur sinter 600°C menjadi 13,7% pada temperatur sinter 650°C dan 10,5% pada temperatur sinter 700°C .

Penurunan porositas komposit ini disebabkan karena pada proses sinter terjadi pemanasan sehingga memberikan energi yang cukup bagi partikel-partikel untuk mengalami transport massa yang menimbulkan jembatan cair (*liquid bridge/necking*) dan jembatan cair ini membentuk ikatan antarmuka matriks dan penguat diantara poros. Persyaratan dasar kualitas komposit terletak pada kualitas ikatan antarmuka matriks dan penguat. Ikatan antarmuka inilah yang menjadi jembatan transmisi tegangan luar yang diberikan dari matriks menuju partikel penguat. Jika ikatan antarmuka matriks dan penguat terjadi dengan baik maka transmisi tegangan ini dapat berlangsung dengan baik. Keberadaan poros yang terletak pada daerah antarmuka pada serbuk matriks dan penguat menyebabkan terhalangnya pembentukan ikatan antar partikel penguat sepanjang proses kompaksi maupun pembentukan *liquid bridge* selama proses sinter. Porositas juga merupakan pusat konsentrasi tegangan eksternal yang dapat menurunkan kemampuan material dalam menahan beban eksternal. Keberadaan porositas menyebabkan penurunan sifat mekanik komposit.

Pada komposit laminat hibrid AlSiC-Al/ Al_2O_3 , porositas tidak hanya terjadi pada daerah antarmuka matriks dan penguat namun juga terjadi pada daerah laminasi antarlapisannya dan dapat dilihat pada Gambar 4.4. Hal ini berakibat lapisan pertama (Al/SiC) dan lapisan kedua (Al/ Al_2O_3) meskipun

bermatriks sama, yaitu aluminium tidak dapat berikatan secara baik membentuk komposit hibrid lapis tunggal (*monolayer hybrid composite*). Model porositas pada komposit laminat hibrid AlSiC-Al/Al₂O₃ ada 2 macam yaitu porositas antar partikel dan porositas pada daerah laminasi. Gambar 4.4 menunjukkan perubahan struktur mikro daerah laminasi komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ yang mengalami penyusutan porositas seiring dengan peningkatan temperatur sinter.



Gambar 4.4. Mikrostruktur daerah laminasi komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ Vf SiC 40%, Vf Al₂O₃ 40%, waktu tahan sinter 6 jam, (A) T Sinter 600°C, (B) T Sinter 650°C, (C) T Sinter 700°C

Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa pori pada daerah laminasi pada umumnya lebih besar dibandingkan pori pada daerah antarmuka partikel serbuk. Keberadaan porositas pada komposit khususnya pada daerah laminasi memicu terjadinya retak dan mengarah pada proses delaminasi. Penyusutan pori merupakan keadaan sinter yang paling penting, pada keadaan ini material *solid* ditransportasikan ke dalam pori dan pada saat yang sama gas-gas yang ada pada permukaan harus dihilangkan. Efek yang dihasilkan pada mekanisme ini adalah terjadinya penurunan volume massa sinter. Pada umumnya pada keadaan akhir proses sinter akan terjadi isolasi pada pori bentuk bola (*spherical pore*) pada material. Sepanjang proses difusi, transport massa atomik sangat tergantung pada *driving force* permukaan. Hal ini disebabkan karena ikatan pada keramik terjadi antara ion

bukan antar atom seperti logam, maka dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan antar ionik dibandingkan antar atom.

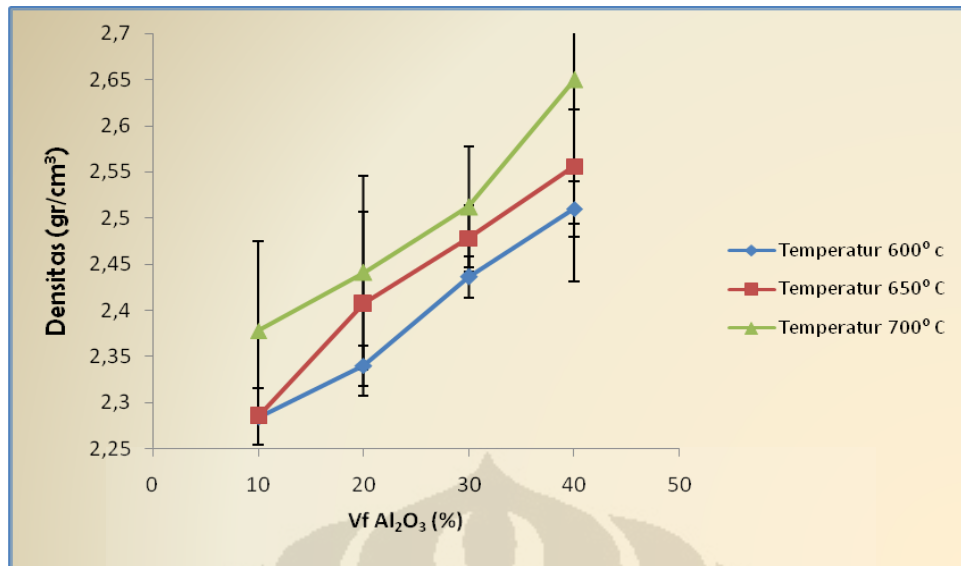
4.3 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 Terhadap Densitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Pada material komposit, fraksi volume penguat memberikan pengaruh yang sangat besar terhadap sifat fisik dan sifat mekanik komposit. Pada penelitian ini, fraksi volume terbesar atau disebut sebagai matriks, yaitu berupa aluminium (Al) dan material dengan fraksi volume lebih rendah disebut pengisi atau penguat berupa silikon karbida (SiC) pada lapisan 1 dan alumina (Al_2O_3) pada lapisan 2.

Densitas komposit terjadi akibat adanya ikatan antar partikel. Kemampuan partikel terjadi akibat interkoneksi karena gaya tekan yang meningkat. Interaksi ini terjadi murni akibat *interlocking* antarpermukaan pasangan partikel. Pasangan partikel ini memberikan pengaruh terhadap distribusi porositas dalam sampel dan tingkat deformasi partikel serbuk Al. Pada umumnya penambahan fraksi volume penguat sebanding dengan peningkatan sifat mekanik material komposit. Pengaruh fraksi volume penguat SiC maupun Al_2O_3 terhadap densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 ditunjukkan pada Tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Nilai pengaruh fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

| Temperatur (°C) | Vf Al_2O_3 (%) | Densitas Sinter Rata-rata (gr/cm^3) | Standar Deviasi |
|-----------------|--------------------------------|---|-----------------|
| 600 | 10 | 2,284 | 0,004 |
| | 20 | 2,340 | 0,022 |
| | 30 | 2,436 | 0,022 |
| | 40 | 2,510 | 0,030 |
| 650 | 10 | 2,285 | 0,031 |
| | 20 | 2,407 | 0,100 |
| | 30 | 2,478 | 0,036 |
| | 40 | 2,556 | 0,062 |
| 700 | 10 | 2,378 | 0,097 |
| | 20 | 2,441 | 0,105 |
| | 30 | 2,512 | 0,065 |
| | 40 | 2,650 | 0,219 |

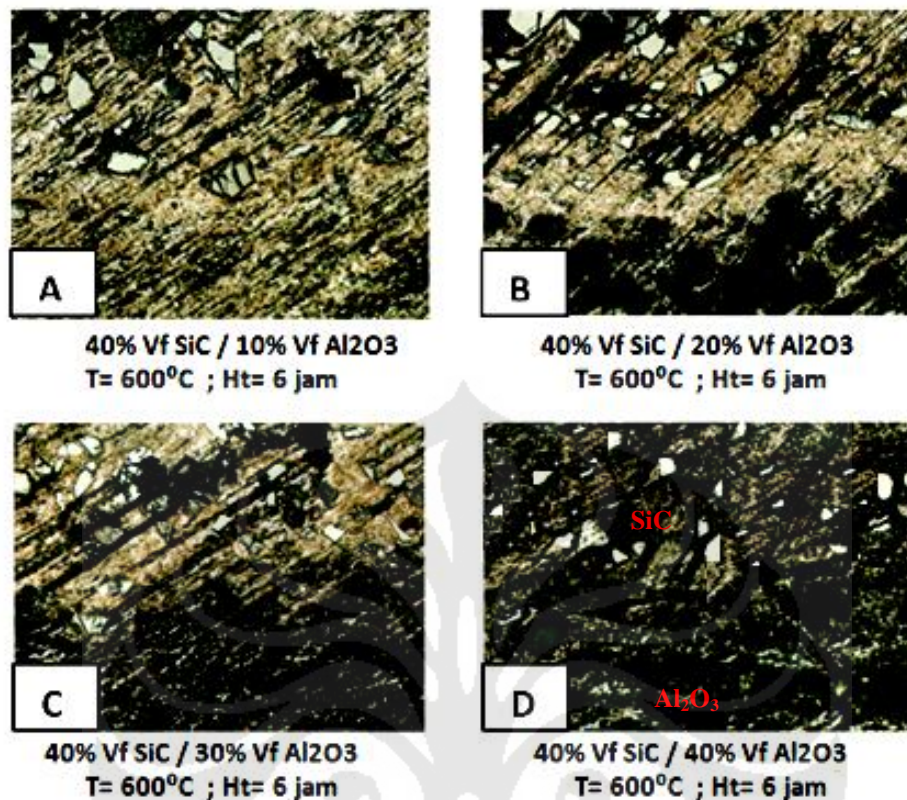


Gambar 4.5 Grafik pengaruh fraksi volume penguat Al₂O₃ terhadap densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Dari Tabel 4.3 dan grafik pada Gambar 4.5 di atas, terlihat bahwa terjadi peningkatan densitas pada komposit hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ ketika temperatur sinter 600°C pada 40% Vf SiC, 10% Vf Al₂O₃ sebesar 2,284 gr/cm³ menjadi 2,340 gr/cm³ pada 20% Vf Al₂O₃ lalu menjadi 2,436 gr/cm³ pada 30% Vf Al₂O₃ dan 2,510 pada 40% Vf Al₂O₃. Begitu pula saat temperatur sinter 650°C terjadi peningkatan densitas komposit hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ pada Vf 10% Al₂O₃ sebesar 2,285 gr/cm³ menjadi 2,407 gr/cm³ pada 20% Vf Al₂O₃ lalu menjadi 2,478 gr/cm³ pada 30% Vf Al₂O₃ dan 2,556 gr/cm³ pada 40% Vf Al₂O₃. Hal yang sama juga terjadi pada temperatur sinter 700°C dengan Vf 10% Al₂O₃ yang densitasnya sebesar 2,378 gr/cm³ menjadi 2,441 gr/cm³ pada 20% Vf Al₂O₃ kemudian menjadi 2,512 gr/cm³ pada 30% Vf Al₂O₃ dan menjadi 2,650 gr/cm³ pada 40% Vf Al₂O₃.

Pada sistem komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, distribusi penguat sebanding dengan fraksi volume penguat dalam matriks. Semakin tinggi fraksi volume penguat, maka distribusi penguat akan semakin merata.

Hal ini dapat terlihat pada Gambar 4.6 di bawah ini:



Gambar.4.6. Distribusi penguat pada komposit laminat hybrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, temperatur sinter 600°C, waktu tahan 6 jam, 40% Vf SiC (A) 10% Vf Al₂O₃, (B) 20% Vf Al₂O₃, (C) 30% Vf Al₂O₃, (D) 40% Vf Al₂O₃

Berdasarkan hasil analisa nilai densitas untuk fraksi volume SiC dibuat konstan sebesar 40% dan fraksi volume Al₂O₃ dibuat variatif dari 10%-40%, terlihat bahwa densitas komposit laminat hibrid Al/Al₂O₃-Al/SiC meningkat seiring dengan peningkatan fraksi Al₂O₃ untuk seluruh variasi temperatur sinter (500°C, 550°C dan 600°C). Jadi, semakin tinggi fraksi volume Al₂O₃, maka semakin tinggi pula densitas komposit Al/SiC-Al/Al₂O₃.

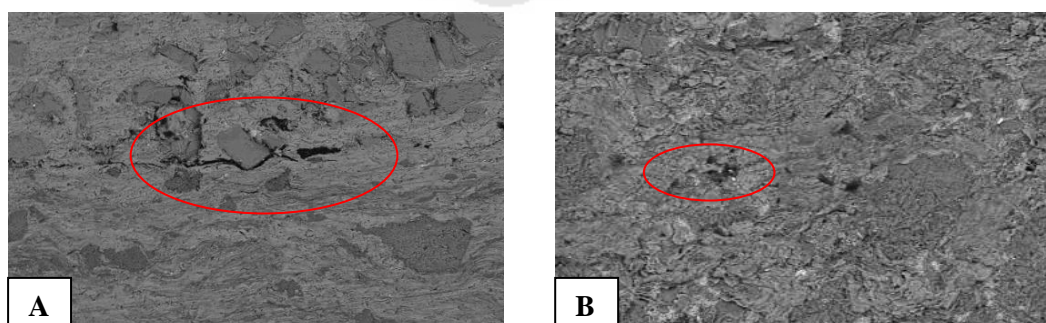
Pada Gambar 4.6 bagian (A) pada 40% fraksi volume SiC dan 10% fraksi volume Al₂O₃, distribusi penguat baik SiC maupun Al₂O₃ cenderung tidak merata pada matrik Aluminium. Terlihat pula pada bagian (B), besarnya distribusi penguat lebih tinggi. Demikian juga, hal sama terjadi pada bagian (C), terjadi peningkatan distribusi penguat yang lebih tinggi daripada bagian (A) dan (B). Berdasarkan struktur mikro pada Gambar 4.6, dapat diketahui bahwa seiring

dengan peningkatan fraksi volume Al_2O_3 dari 10% hingga 40%, homogenitas distribusi penguat Al_2O_3 juga semakin meningkat. Jika distribusi penguat homogen, penambahan variabel fraksi volume penguat meningkatkan derajat laminasi antarlapisan komposit laminat hibrid dan secara makroskopik akan meningkatkan densitas komposit Al/SiC-Al/ Al_2O_3 .

Peningkatan densitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 seiring dengan penambahan fraksi volume penguat SiC/ Al_2O_3 terjadi akibat kemampuan penyerapan panas yang lebih tinggi sepanjang proses sinter oleh komposit dengan fraksi volume penguat lebih banyak dibandingkan pada komposit laminat hibrid dengan fraksi volume penguat lebih sedikit. Penyerapan energi panas ini membantu proses difusi antar lapisan yang akan meningkatkan kualitas ikatan antar lapisan. Termal dibutuhkan untuk energi aktivasi (*driving force*) pada proses difusi maka semakin banyak panas yang diserap material komposit kerapatan daerah antarmuka lapisan akan semakin tinggi.

4.4 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 Terhadap Porositas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Pengurangan porositas terjadi sepanjang proses sinter. Penyusutan pori merupakan keadaan sinter yang paling penting, pada keadaan ini material *solid* ditransportasikan ke dalam pori dan pada saat yang sama gas-gas yang ada pada permukaan harus dihilangkan. Efek yang dihasilkan pada mekanisme ini adalah akan terjadi penurunan volume massa sinter. Sepanjang proses difusi, transport massa atomik sangat tergantung pada *driving force* permukaan.



Gambar 4. 7. Porositas yang terjadi pada daerah laminasi (A) dan daerah antarmuka partikel serbuk (B)

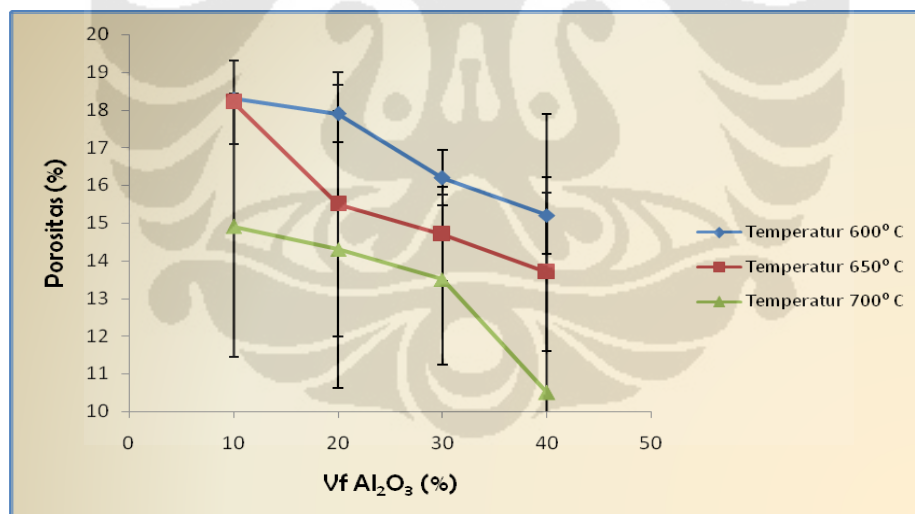
Gambar 4.7 memperlihatkan porositas yang terjadi pada daerah laminasi dan daerah antarmuka partikel serbuk. Porositas adalah lubang yang terjadi pada bakalan serbuk akibat gas atau lubrikan yang terjebak. Pada komposit laminat hibrid AlSiC-Al/Al₂O₃, porositas tidak hanya terjadi pada daerah antarmuka matriks dan penguat, namun juga terjadi pada daerah laminasi antar lapisannya. Hal ini berakibat lapisan pertama (Al/SiC) dan lapisan kedua (Al/Al₂O₃), meskipun bermatriks sama yaitu aluminium tidak dapat berikatan secara baik membentuk komposit hibrid lapis tunggal (*monolayer hybrid composite*). Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.7, model porositas pada komposit laminat hibrid AlSiC-Al/Al₂O₃ ada 2 macam, yaitu porositas pada daerah laminasi (A) dan porositas antarpartikel (B). Pada umumnya, total porositas antar partikel serbuk masih lebih kecil dibandingkan porositas pada daerah laminasi, seperti pada Gambar 4.7. Sehingga porositas pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ dikontribusi dari porositas antar partikel serbuk dan porositas pada daerah laminasi.

Porositas pada daerah laminasi dapat disebabkan oleh adanya tegangan sisa yang terjadi pada penguat saat kompaksi sehingga pada saat proses sinter memicu terjadinya retak pada daerah bidang kristal yang lemah pada bahan tersebut. Dengan adanya waktu tahan sinter maka pergerakan retak akan semakin tinggi karena adanya pergerakan dislokasi.

Nilai Porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, pada Vf 40% SiC dan 10%, 20%, 30%, 40% Vf Al₂O₃ terlihat pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.8. Pada temperatur 600°C dan waktu tahan 6 jam porositasnya berkisar antara 15,2%-18,2% dan nilai porositas terbesar dicapai pada fraksi volume Al₂O₃ 10% yaitu sebesar 18,2%, sedangkan porositas minimum dicapai pada fraksi volume Al₂O₃ 40% yaitu sebesar 15,8 %. Berarti ada penurunan porositas dengan penambahan fraksi volume Al₂O₃ menjadi 40%.

Tabel 4.4 Nilai pengaruh fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap porositas komposit laminat hibrid $\text{Al}/\text{SiC}-\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$

| Temperatur (°C) | Vf Al_2O_3 (%) | Porositas Sinter Rata-rata (%) | Standar Deviasi |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 600 | 10 | 18,3 | 0,129 |
| | 20 | 17,9 | 0,763 |
| | 30 | 16,2 | 0,740 |
| | 40 | 15,2 | 1,017 |
| 650 | 10 | 18,2 | 1,109 |
| | 20 | 15,5 | 3,51 |
| | 30 | 14,7 | 1,256 |
| | 40 | 13,7 | 2,096 |
| 700 | 10 | 14,9 | 3,459 |
| | 20 | 14,3 | 3,679 |
| | 30 | 13,5 | 2,250 |
| | 40 | 10,5 | 7,400 |

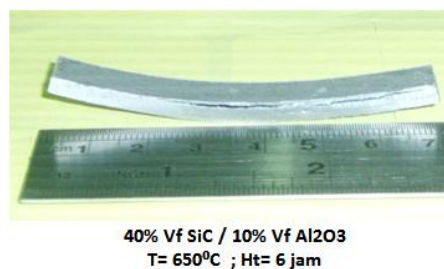


Gambar 4.8 Grafik pengaruh fraksi volume penguat Al_2O_3 terhadap porositas komposit laminat hibrid $\text{Al}/\text{SiC}-\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$

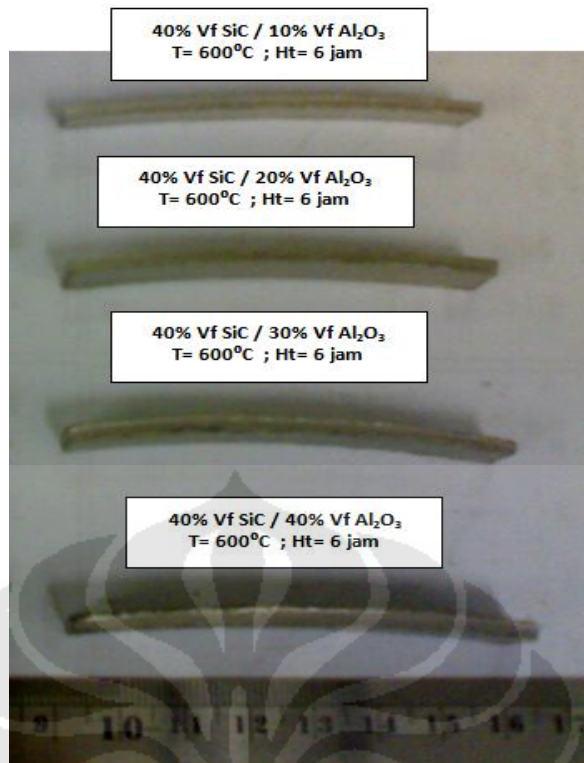
Nilai Porositas komposit laminat hibrid $\text{Al}/\text{SiC}-\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$, pada Vf 40%SiC, dengan temperatur sinter 600°C , 650°C dan 700°C , waktu tahan 6 Jam, 10%, 20%, 30%, 40% Vf Al_2O_3 terlihat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.8. Porositasnya pada temperatur sinter 600°C dengan fraksi volume 10% Al_2O_3

sebesar 18,3%, menurun pada kadar 20% Al_2O_3 menjadi 17,9% dan kembali menurun pada fraksi volume 30% Al_2O_3 menjadi 16,2% dan pada fraksi volume 40% Al_2O_3 besarnya porositas menjadi 15,2%. Demikian pula pada saat temperatur sinter 650°C dengan fraksi volume 10% Al_2O_3 porositas sebesar 18,2%, lalu menurun menjadi 15,5% pada fraksi volume 20% Al_2O_3 dan menurun kembali pada fraksi volume 30% Al_2O_3 menjadi 14,7%, kemudian kembali menurun menjadi 13,7% pada fraksi volume 40% Al_2O_3 . Pada temperatur sinter 700°C dengan variasi fraksi volume Al_2O_3 yang bervariasi juga terjadi penurunan porositas, yaitu 14,9% pada 10% Al_2O_3 menjadi 14,3% pada 20% Al_2O_3 dan menurun kembali pada 30% Al_2O_3 menjadi 13,5% lalu kembali menurun menjadi 10,5% pada fraksi volume 40% Al_2O_3 . Nilai porositas terbesar dicapai pada fraksi volume Al_2O_3 10% yaitu sebesar 18,3%, sedangkan porositas minimum dicapai pada fraksi volume Al_2O_3 40% yaitu sebesar 10,5%.

Porositas terbuka dan retak yang terjadi bisa disebabkan akibat terjadinya perbedaan Koefisien Ekspansi Termal (CTE) antara lapisan pertama (Al/SiC) dengan lapisan kedua (Al/ Al_2O_3). Perbedaan CTE akan menyebabkan pemuaian yang berbeda antar lapisan sehingga memicu terjadinya retak. Diantara material yang digunakan pada pembuatan komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 , logam Al memiliki CTE yang paling tinggi yaitu $2,4 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ [4]. Ini berarti Al mudah mengalami pemuaian akibat perubahan temperatur. CTE SiC sebesar $4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ [16], sedangkan CTE Al_2O_3 sebesar $8,4 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ [19]. CTE SiC maupun Al_2O_3 sangat rendah dibandingkan CTE Al, karena CTE keramik lebih rendah dari logam [30]. Hal ini disebabkan karena ikatan pada keramik terjadi antara ion bukan antar atom seperti logam, maka dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan antar ionik dibandingkan antar atom.



Gambar 4.9 Retak pada daerah laminasi



Gambar 4.10. Perbedaan kelengkungan antarlapisan komposit laminat hibrid dengan variasi Vf Al₂O₃ setelah proses sinter T 600°C

Proses lengkung juga terjadi pada komposit laminat hibrid, hal ini terjadi karena perbedaan CTE antar lapisan memicu proses ekspansi yang berbeda pada lapisan pertama dengan lapisan kedua. Lapisan dengan ekspansi termal yang lebih besar akan cenderung mengikuti arah lapisan dengan ekspansi termal yang lebih rendah jika ikatan antarlapisannya memiliki kualitas yang baik. Jadi kelengkungan komposit laminat hibrid setelah proses sinter bisa menjadi salah satu indikasi kualitas ikatan antarlapisan. Jika kualitas ikatan antar lapisan kurang baik maka perbedaan CTE antar lapisan akan memicu terjadinya delaminasi sebagaimana Gambar 4.9. Retak pada daerah laminasi adalah terbentuknya porositas akibat mekanisme kompaksi yang memasukkan lapisan kedua dalam bentuk serbuk dan sisa HNO₃ pada daerah laminasi. Pelapisan HNO₃ yang bersifat korosif pada daerah laminasi berfungsi untuk membantu proses oksidasi aluminium agar membentuk α -Al₂O₃ yang bersifat metastabil sehingga dapat meningkatkan reaktivitas permukaan laminasi dan meminimalkan perbedaan CTE yang masih

terjadi. Kegagalan ikatan antarmuka lapisan dapat terjadi apabila kekuatan kohesifitas antara kedua lapisan sama atau lebih besar dari kekuatan tegangannya.

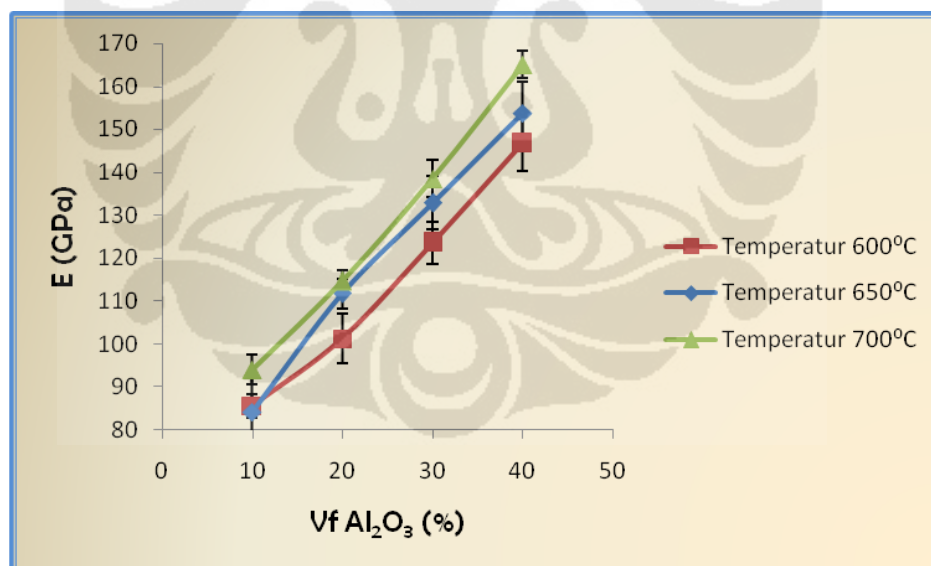
4.5 Pengaruh Fraksi Volume Penguat Al_2O_3 Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3

Berdasarkan tujuan utama rekayasa material dalam pembuatan komposit, penambahan penguat dengan fraksi volume tertentu dalam hal ini keramik (SiC dan Al_2O_3) diharapkan mampu meningkatkan kekuatan material matriks yang direkayasa (Aluminium). Fraksi volume penguat telah menyebabkan peningkatan densitas dan menurunkan porositas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 yang sangat mempengaruhi sifat mekanik. Oleh sebab itu, penentuan fraksi volume penguatan optimum komposit perlu dilakukan melalui pengujian *bending*.

Pada sistem komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 , transmisi tegangan tidak hanya terjadi antara matriks aluminium dengan partikel keramik SiC maupun Al_2O_3 , namun juga terjadi antar lapisan pertama (Al/SiC) dengan lapisan kedua (Al/ Al_2O_3), sehingga perlu diketahui pengaruh fraksi volume penguat terhadap transmisi tegangan yang tidak hanya dikontribusi oleh antarmuka partikel serbuk namun juga oleh antarmuka lapisan komposit laminat hibrid. Ikatan antarmuka pada komposit laminat hibrid ada dua macam, pertama adalah intralaminat dan yang kedua adalah interlaminat. Intralaminat adalah ikatan yang terjadi antar partikel pada lapisan penyusun laminat, yaitu antara partikel aluminium dengan SiC maupun partikel aluminium dengan penguat Al_2O_3 pada lapisan kedua. Sedangkan ikatan interlaminat terjadi antara partikel serbuk aluminium pada matriks lapisan pertama terhadap aluminium matriks lapisan kedua maupun aluminium dengan partikel SiC dan Al_2O_3 . Dalam sistem komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 , pengaruh fraksi volume penguat SiC dan Al_2O_3 terhadap modulus elastisitas dapat diamati pada Tabel 4.5 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.5 Nilai pengaruh fraksi volume Al_2O_3 terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$

| Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) | Vf Al_2O_3 | E (Gpa) | Standar Deviasi |
|-----------------------------------|----------------------------|---------|-----------------|
| 600 | 10 | 85,569 | 2,76 |
| | 20 | 101,279 | 5,676 |
| | 30 | 123,608 | 4,947 |
| | 40 | 146,793 | 6,418 |
| 650 | 10 | 84,200 | 8,047 |
| | 20 | 111,715 | 3,548 |
| | 30 | 132,908 | 6,217 |
| | 40 | 153,782 | 7,421 |
| 700 | 10 | 94,019 | 3,422 |
| | 20 | 114,658 | 2,535 |
| | 30 | 138,466 | 4,331 |
| | 40 | 165,122 | 3,244 |

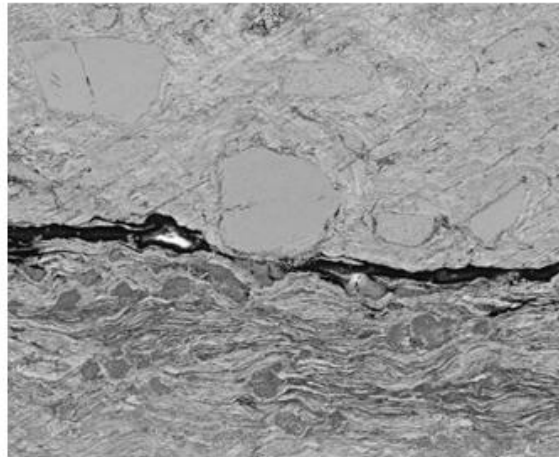


Gambar 4.11 Nilai pengaruh fraksi volume Al_2O_3 terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$

Pada Gambar 4.11, terlihat bahwa pada modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$, cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan fraksi volume penguat Al_2O_3 pada Vf SiC tetap 40% dan Vf

Al_2O_3 yang bervariasi dari 10%, 20%, 30% dan 40%. Pada 10% Vf Al_2O_3 , T 600°C, waktu tahan 6 jam, nilai modulus elastisitas sebesar 85,569 GPa. Selanjutnya meningkat pada 20% Vf Al_2O_3 menjadi 101,279 Gpa dan kembali meningkat menjadi 123,608 pada 30% Vf Al_2O_3 dan pada temperatur 600°C modulus elastis terbesar dicapai pada 40% Vf Al_2O_3 sebesar 146,793. Pada T sinter 650°C dengan fraksi volume 10% Al_2O_3 memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan dengan modulus elastisitas pada 10% Vf Al_2O_3 pada T 600°C, yaitu 84,200 Gpa. Namun, meningkat kembali pada Vf 20% Al_2O_3 menjadi 111,715 dan terus meningkat pada Vf 30% Al_2O_3 menjadi 132,908 Gpa dan kembali meningkat pada 40% Vf Al_2O_3 menjadi 153,782 Gpa. Demikian pula pada T sinter 700°C juga terjadi peningkatan modulus elastisitas, yaitu pada Vf 10% Al_2O_3 bernilai 94,019 Gpa, meningkat pada Vf 20% Al_2O_3 menjadi 114,658 kemudian meningkat lagi pada Vf 30% Al_2O_3 menjadi 138,466 dan kembali meningkat pada Vf 40% dengan nilai 165,122 Gpa. Terlihat bahwa nilai modulus elastis terendah dicapai ketika 10% Vf Al_2O_3 , sedangkan modulus elastisitas tertinggi dicapai saat 40% Vf Al_2O_3 pada masing-masing variabel T sinter.

Berdasarkan data yang diperoleh, nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 , pada 10% Al_2O_3 dengan T sinter 650°C lebih rendah dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas T sinter 600°C, karena pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/ Al_2O_3 10% Al_2O_3 dengan T sinter 650°C terjadi delaminasi sehingga menurunkan sifat mekanisnya yang berakibat pada rendahnya nilai modulus elastisitas yang dicapai. Delaminasi yang terjadi dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Delaminasi ini dikarenakan kualitas *interface* yang kurang baik sehingga dapat menghambat proses difusi yang melibatkan transport massa pada daerah antarmuka serbuk matriks dan penguat maupun pada daerah antarmuka lapisan pada sistem komposit laminat hibrid. Akibatnya komposit ini memiliki nilai modulus elastis yang rendah.



40% Vf SiC / 10% Vf Al₂O₃
T = 650°C ; Ht = 6 jam

Gambar 4.12. Delaminasi pada daerah laminasi komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, Vf SiC 10%, Vf Al₂O₃ 10%, T sinter 650°C, waktu sinter 6 Jam

Gambar 4.12 menunjukkan terjadinya delaminasi komposit laminat hibrid pada penelitian ini. Jika ikatan interlaminat memiliki kualitas yang buruk baik maka pembebanan luar yang diberikan pada komposit, pada awalnya akan merusak matriks, kemudian ikatan antara matriks dan penguat lalu akan merusak ikatan antar lapisan lamina. Retak pada umumnya menjadi awal untuk terjadinya delaminasi pada daerah laminasi komposit laminat hibrid. Retak memiliki tahapan sebelum memicu terjadinya delaminasi. Saat pemberian tegangan geser, pertama akan terjadi retak pada daerah yang paling getas atau yang terdapat poros menuju daerah ulet. Selanjutnya retak awal ini akan berlanjut pada bagian lain pada komposit khususnya pada bagian matriks. Hal ini akan terjadi hingga terjadi kondisi saturasi, yaitu kondisi dimana retak terjadi secara merata hampir pada seluruh bagian matriks komposit. Selanjutnya akan terjadi *macro cracking* atau delaminasi laminat.

Telah dijelaskan pada bab IV.5 penyebab nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, pada 10% Al₂O₃ dengan T sinter 650°C lebih rendah dibandingkan dengan nilai modulus elastisitas T sinter 600°C, karena pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ 10% Al₂O₃ dengan T sinter 650°C

terjadi delaminasi sehingga menurunkan sifat mekanisnya yang berakibat pada rendahnya nilai modulus elastisitas yang dicapai.

Dari analisa data ini dapat disimpulkan bahwa peningkatan fraksi volume penguat Al_2O_3 berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$. Semakin tinggi fraksi volume penguat Al_2O_3 maka semakin tinggi modulus elastisitas komposit laminat hibrid. Hal ini terjadi dikarenakan pada umumnya transfer beban eksternal terjadi secara baik, karena kualitas ikatan antarmuka partikel serbuk maupun antarmuka lapisan juga berkualitas baik.

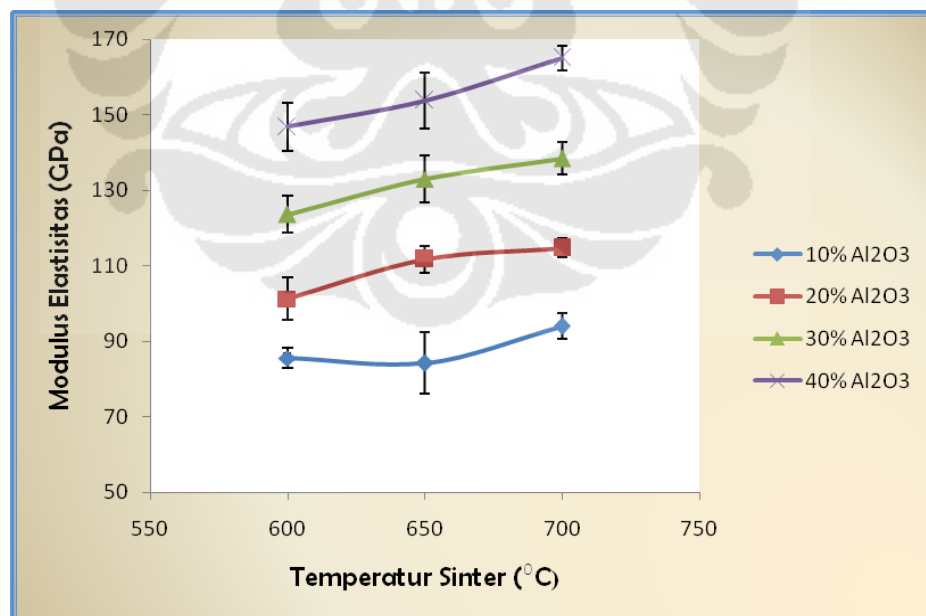
4.6 Pengaruh Temperatur Sinter Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Laminat Hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$

Sinter merupakan proses perlakuan panas dengan pemberian temperatur pada bakalan yang dapat mengakibatkan terjadinya reaksi kimia atau difusi atomik. Proses sinter ini sangat berpengaruh terhadap nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$. Nilai modulus elastisitas sangat penting untuk mengetahui kualitas ikatan antarpartikel komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$ secara mekanik. 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, pengaruh temperatur sinter terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid $\text{Al/SiC-Al/Al}_2\text{O}_3$ dengan variabel temperatur 600°C , 650°C dan 700°C dinyatakan pada tabel 4.5 dan gambar 4.13.

Tabel 4.6 Nilai pengaruh temperatur sinter terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

| Vf Al ₂ O ₃ | Temperatur (°C) | E (Gpa) | Standar Deviasi |
|-----------------------------------|-----------------|---------|-----------------|
| 10 | 600 | 85,569 | 2,76 |
| | 650 | 84,200 | 8,047 |
| | 700 | 94,019 | 3,422 |
| 20 | 600 | 101,279 | 5,676 |
| | 650 | 111,715 | 3,548 |
| | 700 | 114,658 | 2,535 |
| 30 | 600 | 123,608 | 4,947 |
| | 650 | 132,908 | 6,217 |
| | 700 | 138,466 | 4,331 |
| 40 | 600 | 146,793 | 6,418 |
| | 650 | 153,782 | 7,421 |
| | 700 | 165,122 | 3,244 |



Gambar 4.13 Grafik pengaruh temperatur sinter terhadap modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃

Pada gambar 4.13, terlihat bahwa pada modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, cenderung mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan T sinter. Pada Vf SiC tetap 40% dan Vf Al₂O₃ 10% dengan T sinter 600°C nilai modulus elastisnya 85,569 GPa lalu menurun pada T sinter 650°C menjadi 84,200 dan meningkat pada T sinter 700°C menjadi 94,019 Gpa. Pada 20% Vf Al₂O₃, dengan T 600°C nilai modulus elastisitasnya sebesar 101,279 Gpa kemudian meningkat pada T sinter 650°C menjadi 111,715 Gpa dan meningkat kembali pada T sinter 700°C menjadi 114,658 GPa. Demikian pula pada 30% Vf Al₂O₃, juga cenderung meningkat pada T sinter 600°C sebesar 123,608 GPa, lalu meningkat pada T sinter 650°C menjadi 132,908 Gpa dan meningkat lagi menjadi 138,466 Gpa. Pada 40% Vf Al₂O₃, juga terjadi peningkatan modulus elastisitas, yaitu pada T sinter 600°C sebesar 146,793 Gpa menjadi 153,782 Gpa pada T sinter 650°C dan semakin meningkat pada T sinter 700°C menjadi 165,122 Gpa.

Peningkatan nilai modulus elastisitas komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ akibat pengaruh peningkatan temperatur sinter dikarenakan adanya difusi selama proses 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 leher (*neck growth*). Mekanisme transport permukaan terjadi akibat evaporasi, difusi permukaan dan difusi volume.

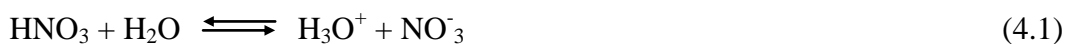
Evaporasi dan difusi permukaan terjadi akibat tekanan uap tinggi dan tegangan permukaan rendah pada permukaan leher. Evaporasi dan difusi permukaan merupakan mekanisme perpindahan massa yang paling utama. Difusi volume tergantung pada gradien kekosongan yang tinggi, yang ditemukan pada daerah leher. Konsentrasinya akan meningkat dengan meningkatnya tegangan permukaan dan kelengkungan cekungannya. Transport permukaan berkontribusi pada pembentukan leher dan sangat mempengaruhi terjadinya perubahan dimensi

dan kerapatan. Transport ruah disebabkan oleh adanya tegangan permukaan yang tinggi pada daerah leher.

Berbagai metode transport pada dasarnya dapat mengakibatkan pertumbuhan leher sehingga terjadi penyusutan porositas akibat aliran plastis, difusi antar batas butir (*grain boundary diffusion*) dan difusi volume. Kecepatan difusi tergantung pada temperatur dan energi penggerak (*driving force*). Jadi semakin tinggi temperatur sinter, semakin tinggi juga modulus elastisitasnya karena akan terjadi difusi batas butir sampai terjadi pertumbuhan butir dan terjadi penyusutan porositas yang akan meningkatkan densitas dan meningkatkan modulus elastisitas.

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

Material komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang mempersyaratkan terjadinya ikatan antarmuka (*interface*) diantara keduanya. Untuk meningkatkan kekuatan antarmuka antara matriks dan penguat pada komposit laminat hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, maka pada penelitian ini dilakukan proses *electroless plating* pada partikel penguat yang akan membentuk sebuah fasa baru, yaitu lapisan oksida logam tipis, yang berperan sebagai pengikat dan dapat menurunkan sudut kontak antara matriks dan penguat sehingga dapat meningkatkan keterbasahan. *Electroless plating* yang dilakukan terhadap partikel penguat SiC dan Al₂O₃ merupakan 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:

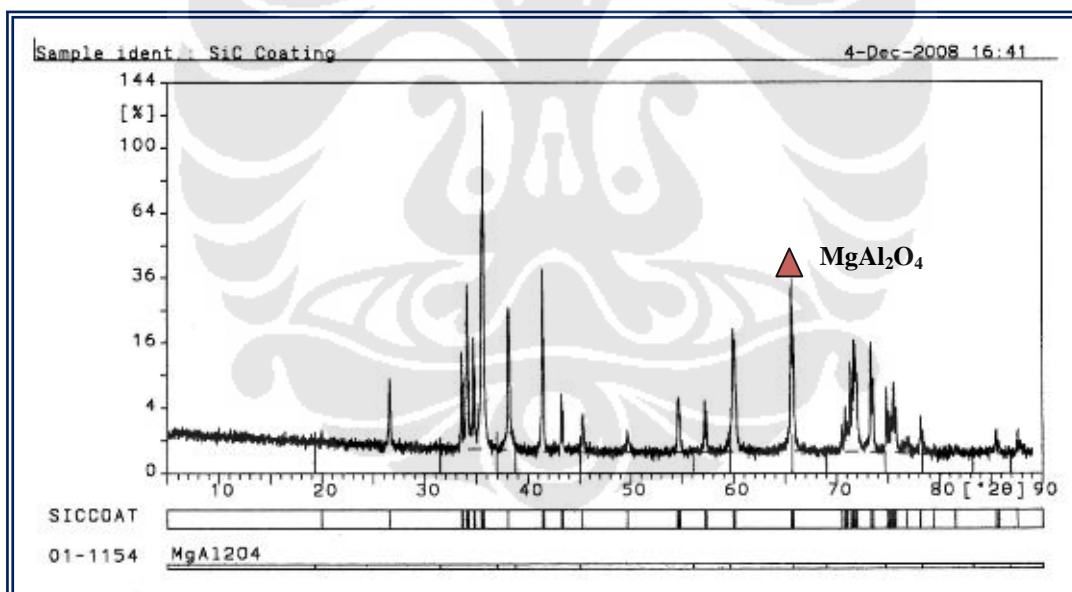


H_{2(g)} yang terbentuk pada reaksi diatas akan menguap karena adanya pemanasan. NO_{3⁻(l)} merupakan sisa asam. Dari sini akan terbentuk larutan elektrolit dengan ion Mg²⁺ dan Al³⁺ yang bergerak bebas. Untuk melakukan

electroless plating, partikel penguat (SiC dan Al₂O₃) dimasukkan ke dalam larutan elektrolit tersebut sehingga termuati oleh sisa asam NO₃(_l), hal ini akan mengakibatkan terjadinya gaya elektrostatis antar ion-ion Mg²⁺, Al³⁺ dan SiC atau Al₂O₃ yang telah termuati oleh NO₃(_l) dan akhirnya akan terbentuk lapisan *spinel* MgAl₂O₄, sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab 2.

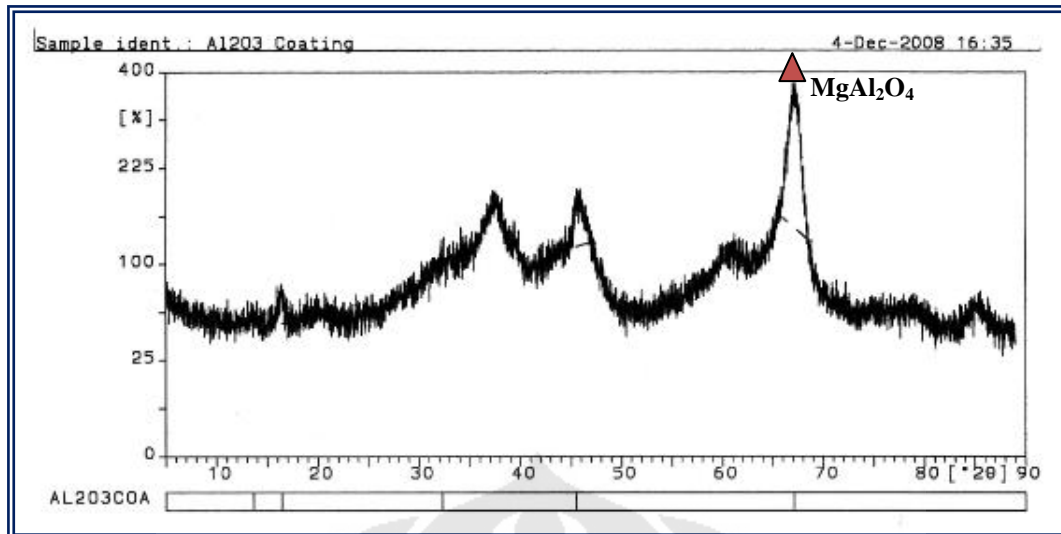


Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian fasa dengan menggunakan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Pada pengujian XRD untuk partikel penguat yang telah dilapisi, terbentuk adanya fasa *spinel* MgAl₂O₄. Fasa *spinel* inilah yang akan membantu meningkatkan kualitas ikatan antara matriks dan penguat.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



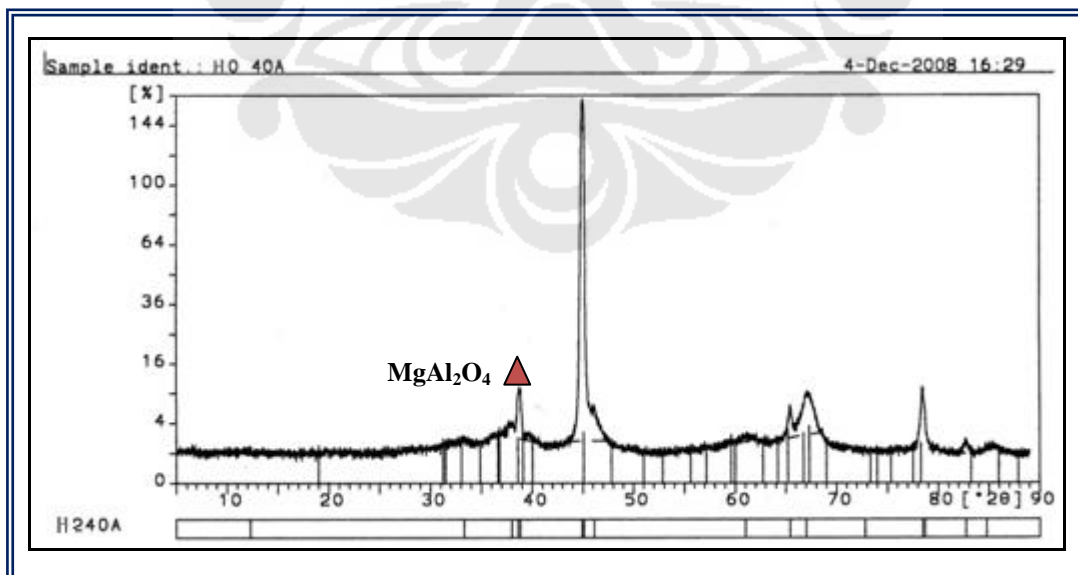
Gambar 4.14 Pengujian XRD pada Partikel SiC

Hasil pengujian XRD untuk partikel penguat Al₂O₃ dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pengujian ini menunjukkan keberhasilan proses *electroless plating*, yaitu terbentuknya fasa *spinel* pada partikel penguat Al₂O₃.



Gambar 4.15 Pengujian XRD pada Partikel Al₂O₃

Dengan adanya fasa *spinel* yang terbentuk, maka akan meningkatkan kemampubasahan antara matriks dan penguat, sehingga ikatan yang terjadi akan semakin kuat dan berakibat adanya peningkatan densitas dan modulus elastisitas, serta penurunan porositas. Hasil pengujian XRD pada sampel dengan 40% Vf Al₂O₃, temperatur 600°C, waktu tahan 6 jam juga menunjukkan terbentuknya fasa spinel, seperti yang terlihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.16 Pengujian pada XRD Komposit Laminat Hibrid Al/SiC-Al/Al₂O₃, 40% Vf SiC dan 40% Vf Al₂O₃ Temperatur 600°C, Waktu Tahan 6 Jam