

KOMPAKTIBILITAS KOMPOSIT ISOTROPIK Al/Al₂O₃ DENGAN VARIABEL WAKTU TAHAN SINTER

Widyastuti¹, Eddy S Siradj², Dedi Priadi², dan Anne Zulfia²

1. Departemen Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
2. Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknik Industri, ITS Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia

E-mail: wivid_material@yahoo.com

Abstrak

Komponen yang mempersyaratkan kemampuan struktural, ringan dan kuat saat ini banyak dikembangkan berbasis komposit logam (MMCs) dengan matrik aluminium. Kemampuan struktural berhubungan dengan kompaktibilitas komposit yang ditentukan dari kualitas ikatan antarmuka matrik dan penguat. Metalurgi serbuk merupakan salah satu metode pembuat komposit berbasis serbuk yang diawali dengan proses pencampuran, kompaksi dan sintering. Perbedaan volume fraksi penguat dapat mempengaruhi efek penguatan demikian juga dengan proses sintering yang memicu terbentuknya fasa baru. Pada penelitian ini komposit isotropik Al/Al₂O₃ dibuat dari aluminium sebagai matrik dan Al/Al₂O₃ sebagai penguat. Volume fraksi penguat yang digunakan adalah 10%, 20%, 30% dan 40%. Temperatur sintering 600°C dan gaya tekan kompaksi 15 kN. Pengujian yang dilakukan adalah uji tekan dan pengamatan metalografi. Hasil yang diperoleh adalah kompaktibilitas komposit Al/Al₂O₃ mencapai nilai optimum saat waktu tahan sintering 2 jam. Sepanjang proses sintering, fasa baru yang terbentuk adalah alumina tidak stabil. Fraksi volum penguat terbaik adalah 40% dan waktu tahan sintering optimum adalah 2 jam.

Abstract

Compactibility of Al/Al₂O₃ Isotropic Composite with Variation of Holding Time Sintering. The requirement of component with structural ability, light weight and also strength is increasing base on Metal Matrix Composites (MMCs) by aluminum as matrix (AMCs). A structural ability is connected to composites compactibility which is depend on quality of interfacial bounding. Powder metallurgy is one of method to produce composite with powder mixing, compacting and sintering. Volume fractions reinforced and sintering time can influence composites compactibility. Volume fractions reinforced variable can produce different reinforcement effect. Beside that, on sintering enables the formation of new phase during sintering time. In this research, Al/Al₂O₃ isotropic composites are made with aluminum as matrix and alumina (Al₂O₃) as reinforced. Volume fraction reinforced used 10%. 20%. 30% and 40%. Sintering temperature and compaction pressure are each 600°C and 15 kN. The tests that applied are compression and metallographic test. The result that obtained is optimum compactibility of Al/Al₂O₃ composite reached at holding time 2 hour. During sintering, new phase can occur that is aluminum oxides (alumina), with unstable properties. The best volume fraction reinforced and holding time sintering are 40% and 2 hours.

Key words: MMCs, compactibility, holding time sintering, powder metallurgy

1. Pendahuluan

Kebutuhan komponen dengan kemampuan struktural, ringan serta kuat mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal ini telah mendorong perkembangan material baru komposit matrik logam (*Metal Matrix Composites*/MMCs), yaitu *Aluminium Metal Matrix Composite* (AMCs). AMCs adalah komposit yang matriksnya berupa logam aluminium. Pembuatan

MMCs salah satunya dengan metalurgi serbuk (*Powder Metallurgy*). Metalurgi serbuk dapat memproduksi MMCs dengan komposisi matriks dan reinforced yang bervariasi [1] dengan efisiensi bahan baku yang sangat tinggi. Sejak tahun 2001, industri metalurgi serbuk mengalami pertumbuhan yang signifikan sebesar 11% pertahun. Tahun 2002, Amerika utara membutuhkan 368.000 ton besi dalam komponen manufaktur metalurgi serbuk [2] Akan tetapi, penelitian dibidang

metalurgi serbuk di Indonesia relatif sangat kecil apabila dibandingkan dengan negara maju. Di kawasan Asia, misalnya Jepang, Cina, dan India, yang merupakan pioner pengembangan teknologi metalurgi serbuk untuk aplikasi komponen otomotif. Berbagai aplikasi AMCs dapat ditemukan dalam bidang otomotif sebagai berikut: *cylinder liner, brake disc/drum, engine piston* [3]. Aluminium sebagai matriks memiliki sifat ringan, konduktivitas termal dan elektrik tinggi dan ketahanan korosi tinggi. Alumina (Al_2O_3) adalah salah satu penguat (*reinforced*) dalam komposit, dengan sifat keras, tahan aus, ketahanan termal dan kekakuan yang tinggi. Apabila kedua material tersebut digabung menjadi satu, maka akan didapatkan komposit yang memiliki ketahanan korosi tinggi, ringan serta machinability yang baik [4].

Komposit Al/ Al_2O_3 yang diproduksi dengan metalurgi serbuk memiliki kemampuan struktural yang dibutuhkan komponen otomotif. Kemampuan struktural ini berkaitan dengan kompaktilitas komposit. Kompaktilitas komposit merupakan kualitas ikatan antarmuka matriks dan penguat. Semakin tinggi kompaktilitas komposit, semakin tinggi pula sifat mekaniknya. Fraksi volume penguat dan waktu sintering dapat mempengaruhi kompaktilitas komposit. Komposit Al/ Al_2O_3 merupakan komposit isotropik, dimana efek penguatannya kesegala arah. Dengan variabel fraksi volume penguat yang berbeda tentunya akan memberikan efek penguatan yang berbeda pula. Demikian halnya dengan waktu sintering, dimana pada sintering memungkinkan terjadinya fasa baru yang berpengaruh terhadap kompaktilitas komposit.

Penelitian ini membahas bagaimana pengaruh fraksi volume penguat dan waktu sintering terhadap kompaktilitas komposit isotropik Al/ Al_2O_3 , yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk. Selain itu mengetahui fraksi volume optimum penguat dan waktu sintering terbaik guna memperoleh sifat mekanik yang tinggi. Penelitian ini dapat dijadikan acuan pembuatan komposit Al- Al_2O_3 dalam bidang otomotif dengan metode metalurgi serbuk misalnya pembuatan *automotive breaking system, gears dan automotive pushrods, disc brake, planetary barier, chain sprockets* dan untuk referensi untuk penelitian selanjutnya.

Material komposit adalah material yang dibuat dengan kombinasi dua atau lebih material yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopik untuk membentuk material yang bermanfaat, dengan syarat terjadi ikatan antara kedua material tersebut [5]. Material pembentuk komposit ada dua yaitu, matriks dan penguat. Matriks merupakan bahan dasar yang berperan sebagai penyangga dan pengikat *reinforced*. Matriks memiliki karakteristik lunak, ulet, berat persatuan volume yang rendah dengan modulus elastisitas yang rendah. Matriks harus memiliki

kemampuan mengikat dan atau memberikan ikatan antar muka (*interface bonding*) yang kuat antara matriks dan penguat-nya. Penguat berperan sebagai efek penguatan terhadap komposit. Penguat ini bersifat kurang ulet, tetapi rigid dan lebih kuat, karena modulus elastisitasnya lebih tinggi daripada matriks.

Metal Matrix Composites/MMCs memiliki keuntungan dan kerugian. Keuntungannya adalah konduktivitas panas yang baik, penghantar listrik yang baik, tahan terhadap tegangan geser dan tahan terhadap temperatur tinggi sedangkan kerugiannya yaitu biaya mahal dan densitas yang tinggi. Komposit partikulat termasuk komposit isotropik karena partikel penguatnya tersebar merata pada matriks, sehingga distribusi penguatannya sama kesegala arah. Komposit partikulat pada umumnya keuletan (*ductility*) dan ketangguhannya (*failure toughness*) menurun dengan semakin tingginya fraksi volume penguatnya [6].

Komposit partikulat ketangguhan lebih rendah daripada komposit berserat panjang. Akan tetapi, komposit ini sering lebih unggul ketahanan aus (*wear resistant*). Metalurgi serbuk adalah metode yang terus dikembangkan dari proses manufaktur yang dapat mencapai bentuk komponen akhir dengan mencampurkan serbuk secara bersamaan dan dikompaksi dalam cetakan, dan selanjutnya disinter didalam dapur. Tahapan metalurgi serbuk meliputi pencampuran, penekanan dan sintering. Pencampuran adalah menggabungkan 2 bahan serbuk atau lebih agar lebih homogen. Penekanan adalah salah satu cara untuk memadatkan serbuk menjadi bentuk tertentu yang sesuai dengan cetakannya. Sintering merupakan teknik untuk memproduksi material dengan densitas yang terkontrol dan komponen logam dan atau serbuk keramik dengan aplikasi termal. Selain itu sintering dapat mendesain kontrol mikrostruktural yaitu kontrol ukuran butir (*grain size*), densitas pasca sintering (*sinter density*), ukuran dan distribusi fase lain termasuk pori (*pores*) [7]

Sintering umumnya dilakukan pada temperatur konstan dengan waktu yang bervariasi untuk mendapatkan hasil tertentu, sehingga tahapan sintering dikaitkan dengan waktunya. Hal ini dilakukan secara kualitatif sebab peristiwanya terjadi lebih secara simultan dibanding secara berurutan [8]. Metode metalurgi serbuk memberikan kontrol yang teliti terhadap komposisi dan penggunaan campuran yang tidak dapat difabrikasi dengan proses lain [9]. Proses metalurgi serbuk merupakan bagian dari proses fabrikasi yang sangat efektif dari segi biaya (*cost effective*) dalam proses produksi sederhana, bagian yang kompleks, dimensi tertutup ataupun dimensi akhir. Penelitian tentang komposit Al- Al_2O_3 telah diteliti sebelumnya [10] dengan variabel fraksi volume penguat yaitu Al_2O_3 sebesar 10, 20, 30, 40 dan 50%. Temperatur prasintering sebesar 120°C selama 10 menit dan sintering 450°C

selama 15 menit. Tekanan kompaksi yang digunakan 6000 psi. Pengujian yang diberikan adalah pengujian bending. Hal itu disesuaikan dengan bentuk spesimen yaitu balok. Hasil penelitian yang diperoleh adalah semakin tinggi fraksi volum, dapat meningkatkan modulus elastisitas komposit. Nilai modulus elastisitas yang diperoleh berturut turut untuk fraksi volum 10, 20, 30, 40 dan 50% sebesar 11,46, 12,22, 13,79, 15,25, 17,753. (dalam MPsi). Semakin tinggi fraksi volume penguat, maka porositas yang terjadi semakin rendah.

Riset perbandingan mikrostruktur dan karakteristik antarmuka (*interface*) komposit matrik Al dilakukan dengan penguat B₄C, SiC, dan Al₂O₃ [11]. Penelitian ini menggunakan metode *stir casting* yang dilanjutkan dengan ekstrusi panas, dimana metode tersebut lebih efektif dilihat dari segi biaya. Fraksi volume penguat antara 0-20%. Pada daerah interfacial Al-B₄C diketahui terbentuknya fase kedua yaitu Al₃BC dan Al₂O₃ [12]. Komposit Al-B₄C memiliki ikatan *interfacial* yang lebih kuat daripada komposit Al-SiC dan Al-Al₂O₃. Rapat masa/densitas komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$\rho_c = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (1)$$

Hubungan antara modulus elastisitas antara matrik dan penguat terhadap efek modulus elastisitas komposit [13] dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$E_c'' = E_f V_f + E_m V_m \quad (2)$$

$$\frac{1}{E_c^{\perp}} = \frac{V_f}{E_c} + \frac{V_m}{E_m} \quad (3)$$

2. Metode Penelitian

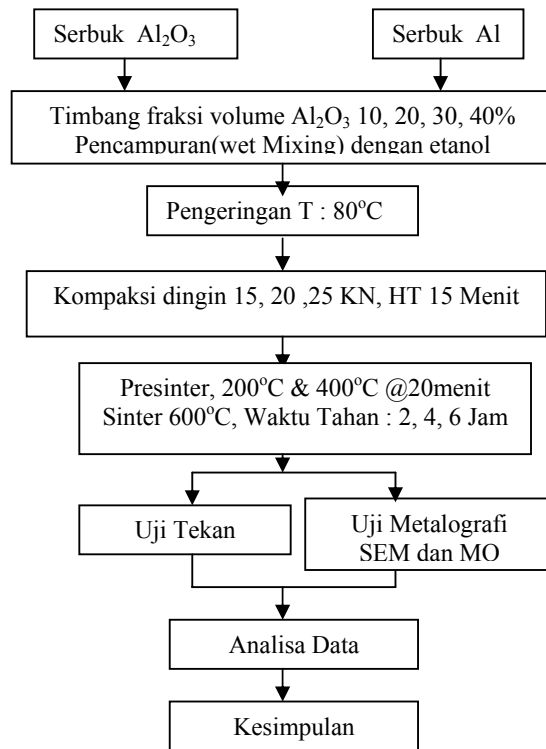
Penelitian ini menggunakan Metode metalurgi serbuk dalam pembuatan komposit isotropik Al/Al₂O₃, dengan serbuk aluminium sebagai matriks dan alumina sebagai penguat. Bahan yang digunakan sebagai berikut serbuk Aluminium (Al) merk Merck dengan kemurnian diatas 90%, sebagai matriks (Densitas 2,7 gram/cm³, Modulus Elastisitas 70 GPa). Serbuk Aluminium Oxide / γ-alumina (Al₂O₃) merk Merck dengan ukuran partikel ≥0.063 mm, sebagai penguat (Densitas 3,89 gram/cm³, Modulus Elastisitas 350 GPa). Serbuk Zinc Streatat (ZnO), sebagai lubricant pada dies (Densitas 1,09 gram/cm³, Temperatur leleh 130^oC). Larutan etanol (CH₃COOH), sebagai pelarut saat pencampuran basah / *wet mixing*. Penentuan massa penguat (m_f) dan matrik (m_m) dengan menggunakan perbandingan fraksi volume penguat sebesar 10, 20, 30 dan 40% Al₂O₃ dan dengan persamaan berikut:

$$m_f = V_f \cdot \rho_f ; m_m = V_m \cdot \rho_m \quad (4)$$

Massa matriks dan penguat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Massa Matriks dan Penguat

Vf(%)	Mf(gr)	Mm(gr)
10	0.840	5.234
20	1.680	4.652
30	0.840	5.234
40	1.689	4.652



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Perhitungan modulus elastisitas eksperimen menggunakan persamaan berikut

$$E_{eks} = \sigma / \epsilon \quad (5)$$

Dimana

E_{exp} =Modulus elastisitas komposit

σ = Tegangan

ε = Regangan

Spesimen dibuat berbentuk silinder dengan dimensi tinggi 14 mm dan diameter 14 mm, sehingga didapatkan volume total komposit sebesar ≥2,1551 cm³. Kemudian pencampuran basah dengan menggunakan etanol sebagai pelarut polar dan magnetic stirer dilengkapi dengan hot plate. Selanjutnya campuran serbuk ini dikeringkan dalam furnace T 80 °C selama 30 menit guna menguapkan sisa larutan etanol. Campuran tersebut dimasukkan dalam cetakan silinder yang telah diolesi dengan pelumas zinc stearat.

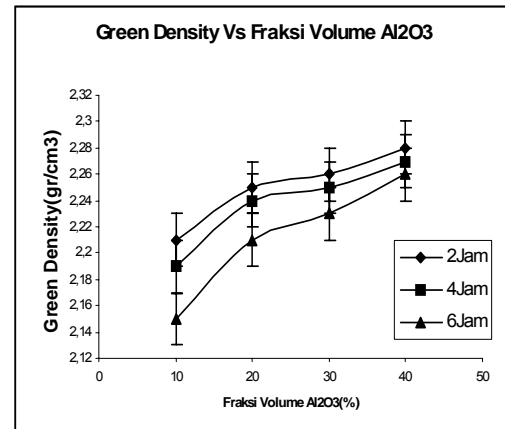
Proses penekanan (kompaksi) dilakukan pada temperatur kamar yaitu *cold compactions*. Tujuan penggunaan metode ini adalah untuk menghindari terbentuknya oksidasi pada aluminium. Tekanan yang digunakan sebesar 15 kN dan ditahan selama 15 menit agar distribusi tegangan merata. Proses sintering dilakukan dalam ruang vakum untuk menghindari terjadinya oksidasi. Temperatur presintering 200 dan 400°C dengan waktu penahanan masing-masing 20 menit. Sedangkan temperatur sintering sebesar 600°C dengan waktu sinter 2, 4 dan 6 Jam. Pengukuran densitas setelah sintering (*Sintering Density*) dilakukan dengan menggunakan prinsip archimedes, dimana volume benda yang dipindahkan sama dengan volume benda yang dimasukkan ke dalam fluida. Fluida yang digunakan adalah etanol. Pengujian spesimen meliputi pengujian metalografi dan pengujian tekan. Hal ini dikarenakan dimensi spesimen uji kecil sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengujian tarik. Dari pengujian tekan dapat diketahui sifat mekanik komposit, dalam hal ini modulus elastisitas komposit.

3. Hasil dan Pembahasan

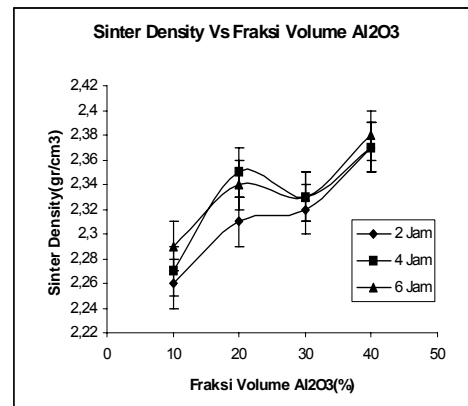
Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Densitas Komposit. Densitas bakalan (*green density*) naik seiring bertambahnya fraksi volume penguat. Green density terjadi karena adanya gaya adhesi- kohesi antar partikel. Gaya ini dipengaruhi oleh penguncian antar permukaan partikel (*interlocking*), gaya van der Waals dan gaya elektostatik. Gaya tekan kompaksi sebesar 15 kN dengan asumsi bahwa dengan tekanan tersebut, partikel diharapkan dapat membentuk model ikatan bola-bidang). Hal ini dikarenakan pada model ikatan ini porositas yang terbentuk relatif semakin kecil [14] Pada proses penekanan, digunakan *die wall lubricant* yang berfungsi untuk mengurangi gesekan yang terjadi antara partikel dengan dinding cetakan. Semakin tinggi fraksi volume penguat yang digunakan, maka semakin tinggi pula *sintered density* yang diperoleh. Akan tetapi untuk fraksi volume penguat yang 30%, menunjukkan adanya penurunan *sinter density*. Hal ini dapat disebabkan distribusi penguat terhadap matriks tidak merata sebagaimana ditunjukkan **Gambar 4** yaitu terjadinya pengumpulan partikel penguat dalam satu tempat, yang disebut dengan aglomerat. Aglomerat terjadi karena proses pencampuran basah (*wet mixing*) yang tidak merata, dimana partikel-partikel yang memiliki muatan yang sama cenderung untuk berkumpul menjadi satu.

Semakin meningkat waktu sintering, maka semakin tinggi pula *sintered density* yang diperoleh. Hal tersebut dikarenakan keberhasilan proses pertumbuhan butir (*grain growth*) dan penyusutan pori (*shrinkage*) yang tergantung pada tahapan medium. Pertumbuhan butir ini sangat berpengaruh terhadap proses eliminasi (penghilangan) porositas. Porositas yang dimaksud adalah porositas terbuka. Semakin banyak pertumbuhan

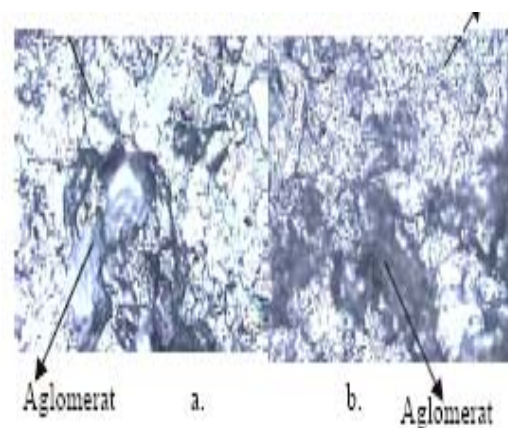
butir yang terjadi maka eliminasi porositas semakin tinggi pula, sehingga densitas setelah sintering dapat meningkat.



Gambar 2. Grafik Green Density terhadap Fraksi Volume Penguat



Gambar 3. Grafik Sinter density Vs Fraksi volume Al₂O₃



Gambar 4. Distribusi Penguat terhadap Matriks
a. Vf 30% 2 Jam b. Vf 30% 4 Jam

Pengaruh Waktu Sintering terhadap Porositas dan Penyusutan (*Shrinkage*). Pembuatan komposit dengan metode metalurgi serbuk dapat memungkinkan terjadinya porositas. Porositas adalah bagian yang tidak koheren dari sintering, berupa kekosongan berisi gas atau pelumas. Semakin tinggi waktu sintering maka semakin rendah porositas. Hal ini disebabkan degassing berhasil serta mekanisme transport massa berjalan baik. Selain itu, semakin tinggi fraksi volume penguat yang digunakan, maka porositas semakin tinggi pula.

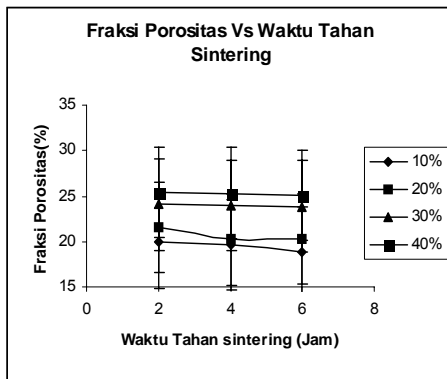
Pada proses sintering akan terjadi proses penyusutan pori (*shrinkage*) yang tergantung pada tahapan medium/intermediate sintering. Semakin tinggi waktu sintering, semakin tinggi penyusutan pori (*Shrinkage*).

Porositas terbuka dapat tereliminasi pada proses sintering, sehingga terjadi penyusutan porositas. Penyusutan (*Shrinkage*) diperoleh dari selisih perbedaan densitas antara *sintering density* dan green density (bakalan), karena sepanjang proses sintering akan terjadi penghapusan porositas akibat reaksi antarmuka partikel serbuk.

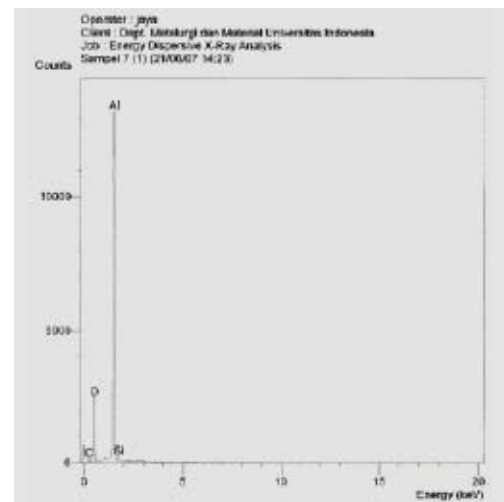
Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Pembentukan Fasa Baru. Waktu sintering yang berbeda dapat memberikan struktur mikro yang berbeda. Sepanjang proses sintering memungkinkan terjadinya ikatan antar matriks dan penguat serta timbulnya fasa baru.



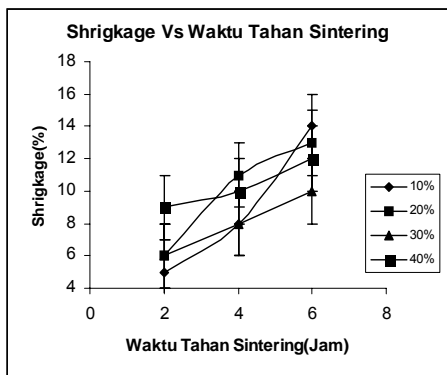
Gambar 7. SEM Al/Al₂O₃ Vf 40% Waktu Tahan 2 Jam



Gambar 5. Grafik Waktu Tahan sintering Vs Porositas



Gambar 8. EDAX Al/Al₂O₃ Vf 40% Waktu Tahan 2 Jam



Gambar 6. Grafik Shrinkage Vs Waktu Tahan Sintering

SEMQuant result listed at 14:24:37 on 21/06/07
 Operator : Jaya
 Client : Dept. Metalurgi dan Material UI
 Job : Energi Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label : sample 7 (1)
 System resolution : 39 eV
 Quantitative methods : ZAF (3 iterations)
 Analysed all element and normalised result.
 2 peaks possibly omitted : -0.02, 1.04, 2.98 keV.
 Standard :

Element	Spect. Type	Element %	Atomic %	
C	K	Carbon low 13/09/06	0.72	1.35
O	K	Al2O3 22/03/06	26.09	37.05
Al	K	CaAl2 03/03/07	72.07	60.69
Si	K	Low Carbon Steel 13/09/06	1.12	0.91
Total			100.00	100.00

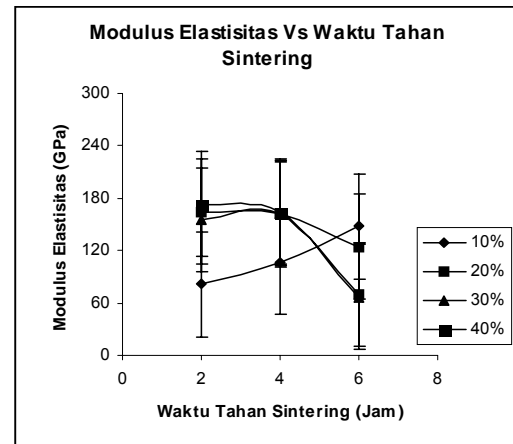
* = < 2 Sigma

Gambar 9. EDAX Al/Al₂O₃ Vf 40% Waktu Tahan 2 Jam

Ikatan antara matrik dan penguat berhubungan dengan kompaktibilitas komposit, dimana semakin baik ikatan yang terjadi maka kompaktibilitas komposit semakin baik pula. Terjadinya fasa baru selama sintering memungkinkan perbedaan sifat mekanik yang dihasilkan. Pada Gambar 7 terlihat adanya fasa baru (nomor 1) yang muncul yaitu fasa aluminium oksida yang terjadi dari oksidasi aluminium. Aluminium oksida ini bersifat tidak stabil. Fasa ini terjadi sepanjang proses sintering. Selain unsur Al dan O yang terdeteksi oleh EDAX, terdapat unsur Si dan C. Kedua unsur tersebut merupakan impuritas (pengotor). Prosentase unsur ini sangat kecil dan terdapat pada permukaan spesimen komposit, sehingga dapat diasumsikan tidak akan mempengaruhi sifat mekanik yang dihasilkan.

Pengaruh Waktu Sintering Terhadap Sifat Mekanik Komposit. Suatu bahan bisa dikatakan komposit apabila memiliki nilai modulus elastisitas diantara matrik dan penguatnya. Komposit isotropik Al/Al₂O₃ memiliki modulus elastisitas berada diantara aluminium dan alumina. Modulus elastisitas aluminium adalah 70 GPa dan alumina adalah 350 GPa. Modulus elastisitas menyatakan nilai kekakuan (*stiffness*) suatu bahan. Kekakuan adalah kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan/ beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk deformasi. Komposit biasanya diaplikasikan dalam komponen struktural, misal *gears, brake*. Hal ini dikarenakan komponen struktural harus tahan terhadap deformasi dan harus kaku (*stiff*). Semakin tinggi modulus elastisitas komposit, maka komposit tersebut semakin kaku.

Pada fraksi volume 40% dengan waktu sinter 2 jam memiliki modulus elastisitas tertinggi yaitu sebesar 173,26 GPa. Komposit berhubungan erat dengan kualitas ikatan antara matriks dan penguat. Dengan mengetahui nilai modulus elastisitas komposit, dapat diketahui pula kualitas ikatan antara matrik dan penguatnya. Kualitas ikatan antara matrik dan penguat disebut dengan kompaktibilitas. Kualitas ikatan antara matriks dan penguat dapat diketahui dengan cara kualitatif dan kuantitatif. Kualitatif dengan pengamatan SEM dan EDAX. Sedangkan kuantitatif dengan nilai modulus elastisitas yang didapatkan dari pengujian mekanik. Semakin tinggi modulus elastisitas komposit, maka dapat dikatakan pula kompaktibilitasnya semakin tinggi. Pada Gambar 10. untuk fraksi volume 10% dan 20% dengan waktu tahan 2 dan 4 jam terjadi peningkatan modulus elastisitas. Hal tersebut dapat dikarenakan adanya distribusi penguat yang merata terhadap matrik. Akan tetapi, pada fraksi volume 30% mengalami penurunan nilai modulus elastisitas, yang disebabkan oleh trapping gas. Trapping a gas atau sisa lubricant yang terjebak didalam partikel, yang tidak dapat keluar ketika proses *degassing*. Pada waktu sintering, trapping gas ini terdorong keluar sehingga menyebabkan retak (*cracking*). *Cracking* dapat



Gambar 10. Hubungan Waktu Tahan Sintering Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/Al₂O₃

menurunkan modulus elastisitas komposit, karena tegangan luar tidak dapat terdistribusi merata.

Untuk waktu sinter yang 6 jam, menunjukkan semakin tinggi fraksi volume penguat, maka semakin rendah modulus elastisitas komposit. Hal ini disebabkan karena matriks aluminium sudah mencapai titik leleh sehingga penguatan komposit dikontribusi oleh fasa semi solid aluminium dan komposit bersifat lebih ulet. Selain itu, kepadatan komposit setelah dikompaksi yang tidak homogen pada setiap bagian dapat menurunkan modulus elastisitas komposit dan menimbulkan retakan (*cracking*) ketika spesimen disintering. Retakan ini terjadi dikarenakan distribusi panas dapat terjadi dengan merata pada seluruh bagian.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut: 1) Semakin tinggi fraksi volume penguat, maka kompaktibilitas komposit semakin tinggi. Kompaktibilitas komposit berkaitan dengan modulus elastisitas; 2) Semakin lama waktu sintering, maka semakin tinggi sintered density yang dihasilkan. Porositas yang terdapat dalam komposit akan semakin rendah. Akan tetapi untuk HT 6 jam cenderung kearah *cracking* karena kepadatan setelah kompaksi yang tidak merata pada setiap bagian. *Cracking* dapat menurunkan modulus elastisitas. Semakin tinggi modulus elastisitas komposit, maka semakin baik kompaktibilitasnya; 3) Waktu sintering komposit isotropik Al/Al₂O₃ terbaik didapatkan selama 2 jam pada fraksi volume penguat 40% dengan modulus elastisitas sebesar 173,26 GPa. Hal ini dikarenakan adanya distribusi penguat Al₂O₃ yang merata terhadap matrik Al.

Daftar Acuan

- [1] J.B. Fogagnolo, F. Velasco, M.H.Robert., J.M. Torralbam, Aluminium Matrix Composites Reinforced with Si₃N₄, AlN and ZrB₂, Produced by conventional powder Metallurgy and Mechanical Alloying, Avenide de la Universid, 2004, 30-28911.
- [2] Goto, Ryuichiro, Powder Metallurgy Growth in The Automotive Market. American Powder Metals Industries International, 2003.
- [3] C. Schumacher, SAE Technology, paper No.892495, 1991.
- [4] L. Froyen, B. Verlinden, Aluminium Matrix Composites Materials. Talat 1402. Belgium. European Aluminium Associations (EAA), 1994.
- [5] Gibson, F. Ronald. Principles of Composite Material Mechanics. McGraw-Hill , Singapore, 1994.
- [6] L. Froyen, B. Verlinden, Aluminium Powder Metallurgy. Talat 1401. Belgium, European Aluminium Associations (EAA), 1994.
- [7] Kang, Suk-Joong, Sintering : Densifikasi, Grain Growth and Microstructures, Elseviere – Butterworth, Heinemann, 2005.
- [8] S. Joel Hirschhorn., Introduction to Powder Metallurgy. American Powder Metallurgy Institute, New Jersey, 1976.
- [9] D. Chandrawan, A. Myrna, Metalurgi Serbuk: Teori dan Aplikasi, Jilid 1, Jakarta.
- [10] M. Arifin, Tugas Akhir, Fisika FMIPA ITS, Surabaya, 2002.
- [11] J.B. Celis, Froyen, K.M. Shorowardi, T. Loui, A.S.M.A. Haseelo, Journals of Materials Processing and Technology (2003) 142-738-743.
- [12] Widyastuti, Tugas Akhir, Fisika ITS, Surabaya, 2002.
- [13] Widyastuti, Pengaruh pelapisan HNO₃ terhadap sifat Mekanik Komposit Lamina Isotropik Al/Al₂O₃-Al/SiC, Laporan penelitian HB, 2006.
- [14] K. Chawla, Composite Material: Science and Engineering. London Paris Tokyo: pringer-Verlag New York Berlin Heidelberg, 1987.