

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN Al_2O_3 DAN SUHU SINTER TERHADAP KEKERASAN DAN BERAT JENIS RELATIF PADA ALUMINIUM SERBUK(AL MMC)

Toto Rusianto¹

ABSTRACT

Powder metallurgy is known as a method to produce aluminum metal matrix composites. The materials used in this research were Al alloy powder as the matrix and Al_2O_3 powder as the reinforcement. The Al alloy powder with irregular shape and particle size of 53 – 210 μm was produced by mechanical grinding method. Al_2O_3 powder with particle size 63 – 200 μm was supplied by Merck Germany. The various content of reinforcement were 0, 3, 6 and 9% weight of Al_2O_3 . Each composition was compacted at pressures 500 MPa to produced green bodies. The green bodies were then sintered various temperatures were 450, 500, 550 and 600 °C for 2 hour in argon atmosphere. Density of specimens was measured using Archimedes method. Mechanical properties of the specimens used Vickers hardness.

The results of the research show that relative density, increases with increasing temperature sintered. However relative density decreases with increasing of Al_2O_3 content. The optimum mechanical properties Vickers hardness were achieved on the composites containing 6% weight of Al_2O_3 with compacting pressure of 500 MPa and sintered temperature 550 °C. The investigation of micro structure showed amounts of porous was 9 to 20 percent, that relative density still low was 80 to 91 percent.

Keywords: Al alloy/ Al_2O_3 composites, powder metallurgy, compacting pressure.

INTISARI

Metalurgi serbuk adalah salah satu cara untuk pembentukan komposit matrik logam aluminium. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk paduan Al sebagai matrik dan serbuk Al_2O_3 sebagai penguat. Serbuk paduan Al berukuran 53 – 210 μm dengan bentuk partikel tidak beraturan yang diperoleh dengan cara pengikiran. Serbuk Al_2O_3 yang digunakan dengan ukuran partikel 63 – 200 μm produksi Merck Jerman. Variasi penambahan Al_2O_3 adalah 0, 3, 6 dan 9% berat. Pembentukan spesimen dengan tekanan kompaksi 500 MPa, variasi suhu sinter 450, 500, 550 dan 600 °C selama 2 jam dalam lingkungan gas argon. Pengujian meliputi pengukuran densitas relatif. Pengujian sifat mekanis adalah uji kekerasan Vickers.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan meningkatnya suhu sinter meningkatkan densitas, sedang penambahan Al_2O_3 menurunkan densitasnya. Peningkatan kekerasan yang optimal diperoleh pada komposit dengan kandungan 6% berat Al_2O_3 dengan tekanan kompaksi 500 MPa pada suhu sinter 550 °C. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan jumlah porositas yang cukup besar (9 hingga 20%), yang mana densitas relatif masih rendah yaitu 80 hingga 91%.

Kata kunci: komposit paduan Al/ Al_2O_3 , metalurgi serbuk, tekanan kompaksi

PENDAHULUAN

Komposit adalah gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih komponen material penyusun, baik secara mikro ataupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya. Komposit sekarang sedang terus dikembangkan sebagai material berteknologi mutakhir. Karena penggunaan yang semakin luas, seperti untuk pesawat terbang, kendaraan bermotor dan peralatan lain yang membutuhkan peralatan yang

ringan tetapi sangat kuat. Komposit diharapkan memiliki kekuatan yang tinggi tetapi ringan, atau harus memiliki *strength density* besar.

MMC (*Metal Matrix Composite*) atau komposit matrik logam adalah gabungan dari logam sebagai matrik yang diperkuat oleh material lain seperti keramik. MMC dapat diklasifikasikan berdasarkan penguatnya antara lain penguat kontinu (*reinforcement continuous*) berupa *monofilament* atau *multifilament* dan

¹ Dosen Fakultas Teknologi Industri IST Akprind Yogyakarta
toto@akprind.ac.id totorusianto@yahoo.com

penguat non kontinu (*reinforcement discontinuous*) yaitu berupa partikel, whisker, serat pendek dan lainnya. Dasar pemilihan matrik dari MMC adalah logam Aluminium (Al) karena sifatnya yang ulet, ringan, mudah dibentuk. Teknik metalurgi serbuk merupakan teknik pembentukan logam yang paling banyak dikembangkan. Pembuatan komposit dengan teknik metalurgi serbuk dikembangkan terus lebih lanjut, dengan memperhatikan dasar-dasar variabel yang berpengaruh pada teknik metalurgi serbuk tersebut.

Alumunium sebagai matrik komposit dengan partikel penguat Al_2O_3 banyak dikembangkan sebagai komponen mesin yang membutuhkan ketahanan aus yang tinggi. Akan tetapi seberapa besar penambahan unsur penguat dapat meningkatkan kekerasan sehingga akan meningkatkan ketahanan aus tersebut masih perlu diteliti lebih lanjut. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui seberapa besar penambahan partikel penguat Al_2O_3 pada komposit alumunium untuk meningkatkan kekerasan dan density relatifnya.

Dalam penelitian ini perumusan masalah yang akan dikemukakan antara lain : Seberapa besar pengaruh penambahan partikel penguat Al_2O_3 pada Al serbuk terhadap kekerasannya. Sejauh mana pengaruh suhu sinter pada komposit Al terhadap densiti relatifnya. Seberapa besar terjadinya perubahan struktur mikro dari bahan tersebut akibat suhu sinter dan penambahan Al_2O_3 .

MMC (*Metal Matrix Composite*) atau komposit dengan matrik logam adalah gabungan dari logam sebagai matrik yang diperkuat oleh material lain seperti keramik. MMC dapat diklasifikasikan berdasarkan penguatnya antara lain penguat kontinu (*reinforcement continuous*) berupa *monofilament* atau *multifilament* dan penguat non kontinu (*reinforcement discontinuous*) yaitu berupa partikel, whisker, serat pendek dan lainnya. Dasar pemilihan matrik dari MMC adalah logam Aluminium (Al) karena sifatnya yang ulet, ringan, mudah dibentuk, murah dan logam yang paling banyak digunakan setelah logam besi, atau logam paduan Aluminium (*Al alloys*). Akan tetapi logam lain juga dapat digunakan se-

perti Tembaga, Magnesium, Titanium, Seng dan lainnya. (© 2001 copyringth Composite Metal Technology Ltd, <http://www.cmt.com>).

Aluminium *Metal Matrix Composite* sekarang sudah banyak dikembangkan dan aluminium paduan yang digunakan juga berbagai macam seperti Al tipe 1100, 2XXX, 6XXX, 7XXX, Al-Si-Mg. Sedang penguat dapat berupa partikel seperti SiC, Al_2O_3 , B_4C berupa whisker SiC atau berupa serat pendek Al_2O_3 . Penelitian penggunaan serat penguat juga sedang terus dikembangkan terutama penggunaan serat kontinu. (Mark R. Van den Bergh, 1998 <http://www.almmc.com>).

Banyak cara untuk memproduksi MMC dengan penguat partikel diskontinyu. Material tersebut memberikan keuntungan rekayasa seperti kekuatan yang tinggi, kekakuan lebih besar dan stabilitas dimensi yang baik dibandingkan dengan logam paduan tanpa partikel penguat. Komposit matrik logam Aluminium paduan dapat dibuat dengan menggunakan partikel penguat seperti alumina (Al_2O_3) atau silikon karbida (SiC) dengan ukuran diameter 3 - 200 μm . Partikel penguat dapat dicampurkan dengan paduan Al dan dituang ke dalam cetakan atau dengan cara ekstrusi. Paduan Al seri 6061 dengan tegangan tarik maksimum 310 MPa dapat ditingkatkan menjadi 496 MPa dengan penambahan partikel penguat SiC sebanyak 20% , sedang tegangan modulus dapat ditingkatkan dari 69 GPa menjadi 103 GPa. Aplikasi dari material ini dapat digunakan sebagai peralatan olah raga hingga komponen mesin mobil. (Smith, 1993).

Metalurgi serbuk adalah metode yang paling umum dalam pabrikasi pembentukan logam-keramik dan logam-logam komposit. Setelah pencampuran dan pengadukan serbuk logam sebagai matrik dan partikel keramik sebagai penguat, pengepresan atau kompaksi dalam keadaan dingin untuk pembentukan *green compact*. Dalam beberapa kasus kompaksi dalam keadaan panas dapat dilakukan, dengan tujuan untuk mempermudah pengeluaran gas-gas. Penggabungan matrik logam dengan penguat serat keramik dapat dihasilkan dengan baik, tetapi cukup sulit untuk mendapat-

kan campuran yang homogen. (Suresh dkk, 1993).

Karakteristik komposit sangat ditentukan oleh matrik dan partikel penguatnya. Kekuatan tarik dari komposit sangat ditentukan dari fraksi volume penyusunnya, yang dirumuskan

$$\sigma = V_f \sigma_f + V_m \sigma_m \dots\dots\dots(1)$$

$$V_f + V_m = 1 \dots\dots\dots(2)$$

keterangan:

σ = Tegangan tarik komposit

σ_f = Tegangan tarik fiber

σ_m = Tegangan tarik matrik

V_f = fraksi volum fiber

V_m = fraksi volum matrik

Sedang *density compact* ditentukan dengan persamaan *rule of mixture*

$$\rho = \rho_m \cdot v_m + \rho_p \cdot v_p \dots\dots\dots(3)$$

berat jenis aktual komposit diuji dengan hukum archimedes, persamaan :

$$\rho = \frac{W_{udara}}{(W_{udara} - W_{fluida})} \rho_{fluida} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

ρ = density komposite (gr/cm³)

ρ_{fluida} = density fluida (gr/cm³)

ρ_m = density matrik (gr/cm³)

W_{udara} = Berat di udara (gr)

ρ_p = density partikel (gr/cm³)

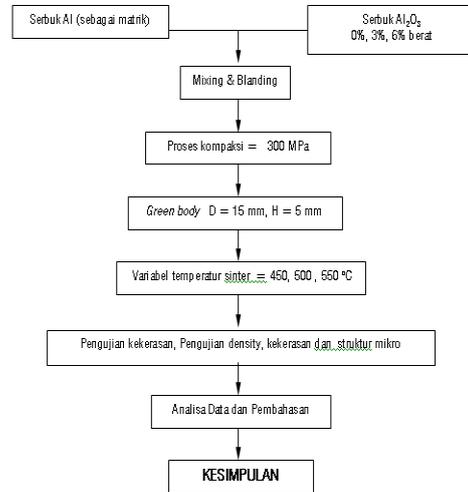
W_{fluida} = Berat di dalam fluida (gr)

Pembentukan dengan metode serbuk banyak pengaruhi antara lain, bentuk dan ukuran serbuk matrik maupun penguat, tekanan (kompresi) dan juga temperatur sinter. Tujuan penelitian ini antara lain: Untuk mengetahui proses pembentukan komposit logam dengan metode metalurgi serbuk. Untuk mengetahui pengaruh penambahan partikel penguat Al₂O₃ terhadap kekerasan dan densiti relatif pada komposit matrik logam Al. Untuk mengetahui pengaruh suhu sinter kekerasan dan densiti relatif pada komposit matrik logam Al.

Langkah - langkah penelitian dapat dilihat dari diagram alir di gambar 1

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan yang mudah diperoleh di pasaran khususnya untuk bahan-bahan. Antara lain: Serbuk Aluminium yang sudah tertentu ukuran, bentuk dan komposisi kimianya. Partikel serbuk Al₂O₃ yang sudah tertentu ukuran, bentuk dan komposisi kimianya, sebagai

variabel penelitian (0%, 3%, dan 6%) berat.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Persamaan perhitungan kekerasan Vickers :

$$HV = \frac{1,854 P}{D^2} \dots\dots\dots(5)$$

keterangan:

HV = kekerasan Vikers

P = Beban (kg)

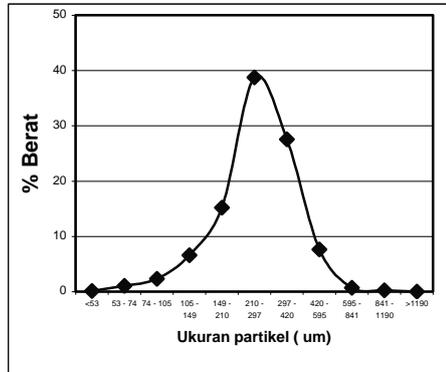
D = Diagonal jejak penekanan rata-rata (mm)

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian komposisi, unsur paduan yang dominan adalah Si sehingga dapat dikategorikan bahwa serbuk Al tersebut merupakan seri 4XXX, yaitu serbuk logam paduan Al. Dari hasil pembuatan serbuk dengan teknik permesinan, serbuk yang dihasilkan terkontaminasi oleh perkakas yang digunakan. Dalam hal ini perkakas terbuat dari baja maka pada serbuk akan ada unsur tambahan yaitu Fe. Penambahan tersebut terdeteksi dari hasil uji komposisi Tabel 5.1 dimana unsur Fe pada bahan baku awal batangan adalah 1,8859 %, setelah dibuat serbuk menjadi 2,208 %

Serbuk dilakukan pemisahan untuk mendapatkan distribusi, sehingga dapat ditentukan ukuran yang akan digunakan untuk pembentukan dengan teknik metalurgi serbuk. Dari hasil pengujian dengan menggunakan teknik *sieving*

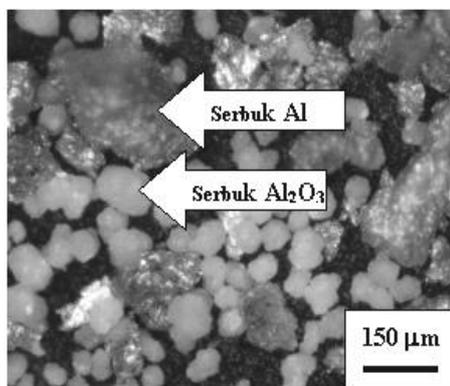
diperoleh distribusi ukuran serbuk sebagai berikut (Gambar 2).



Gambar 2. Distribusi serbuk hasil pengikiran

Menurut German (1994) metalurgi serbuk adalah teknik pembentukan logam dalam keadaan padat, dimana bahan logam dibuat dalam bentuk serbuk dengan ukuran partikel yang halus. Ukuran serbuk adalah lebih besar dari asap ($0,01-1 \mu\text{m}$) dan lebih kecil dari pasir ($0,1-3 \text{ mm}$) biasanya berukuran $25-200 \mu\text{m}$. Distribusi serbuk merupakan tipe Gaussian yaitu serbuk terdistribusi secara normal. Berdasarkan kriteria tersebut maka dipilih serbuk dengan ukuran $53-210 \mu\text{m}$. Sedang jumlah kumulatif dari hasil proses permesinan, serbuk dengan ukuran $53-210 \mu\text{m}$ adalah sebesar 64%. Serbuk ini yang dipilih untuk digunakan sebagai bahan penelitian.

Bentuk serbuk dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini :



Gambar 3. Foto serbuk Al hasil pengikiran

Dari hasil pengamatan dengan mikroskop dapat disimpulkan bahwa bentuk partikel paduan Al adalah tidak beraturan (*irregular*). German (1994) berpendapat bahwa serbuk logam yang diperoleh dengan proses permesinan akan menghasilkan bentuk yang tidak beraturan dan biasanya serbuk akan terkontaminasi. Serbuk aluminium berupa serbuk kasar berbentuk tidak beraturan. Partikel alumina yang digunakan merupakan bahan *pro-analysis* produksi Merck Jerman dengan ukuran partikel $63-200 \mu\text{m}$.

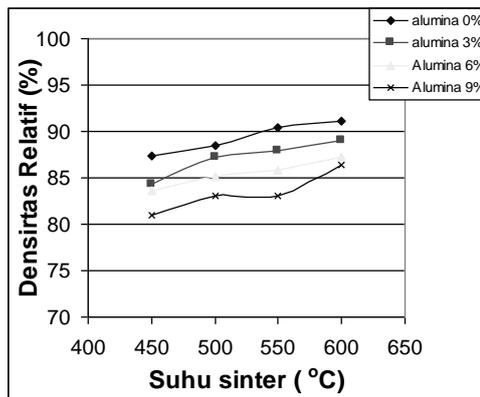
Bentuk serbuk yang tidak beraturan akan berpengaruh terhadap densitas dari produk yang dihasilkan. Teknik permesinan merupakan teknik yang mudah dilakukan untuk membuat serbuk, biasanya dilakukan untuk skala produksi kecil. Kelemahan dari bentuk serbuk yang tidak beraturan tersebut, akan mempengaruhi jumlah porositas hasil kompaksi *green body*. Sedangkan bentuk partikel alumina adalah bulat (*sphere*) dengan ukuran yang lebih kecil dari serbuk Al, diharapkan akan mengisi rongga diantara serbuk partikel Al, sehingga akan mengurangi porositasnya.

Berat jenis komposit hasil pembentukan dengan metalurgi serbuk dipengaruhi oleh tekanan kompaksi dan komposisi penguat. Berat jenis komposit tergantung dari jumlah fraksi volume unsur penyusunnya. Berat jenis paduan Al = $2,7 \text{ gr/cm}^3$ sedangkan berat jenis $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,9 \text{ gr/cm}^3$, dengan diketahuinya persentase berat alumina maka dapat ditentukan fraksi volumenya.

Dari pengamatan Gambar 4 memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya suhu sinter akan meningkatkan densitas. Pengaruh suhu sinter akan meningkatkan kepadatan dari benda uji atau dengan kata lain densitasnya meningkat. Peningkatan tersebut disebabkan oleh sifat logam aluminium sebagai matrik yang bersifat ulet dan memiliki sifat plastis. Dengan adanya sifat plastis tersebut apabila ada beban yang bekerja pada bahan tersebut maka bahan akan berubah bentuk.

Perubahan bentuk karena tekanan akan mendorong serbuk-serbuk mengisi ruang kosong di dalam cetakan. Akan tetapi apabila suhu sinter terus

ditingkatkan pemampatan akan mencapai maksimal atau densitas benda uji sudah tidak dapat ditingkatkan lagi. Karena kemampuan untuk mengisi ruang kosong sudah terhenti karena adanya desakan antar partikel tersebut. Densitas relatif dari bahan tidak akan mencapai 100% jika dibandingkan dengan bahan tersebut apabila dicor, karena masih terdapat kekosongan atau rongga di antara partikel serbuk logam tersebut.



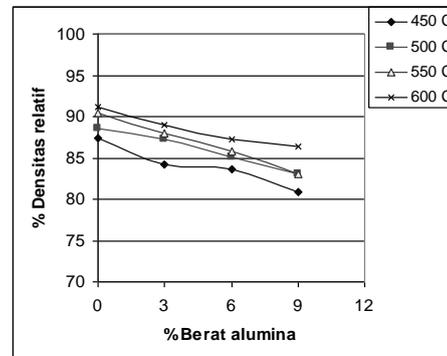
Gambar 4. Grafik pengaruh suhu sinter terhadap densitas relatif dengan variasi komposisi alumina

Peningkatan suhu sinter akan mempercepat proses difusi dari atom-atom, sehingga lebih cepat terjadi pemampatan lebih padat lagi. Suhu sinter jika ditingkatkan terus lebih besar dari suhu 600 °C tentunya akan menyebabkan benda uji menjadi leleh sehingga mekanisme sinter tidak lagi dalam keadaan *solid state sintering* tetapi *liquid phase sintering*. Pengaruh suhu sinter terhadap peningkatan densitas, juga telah dilaporkan oleh Arik dan Cengiz (2001) yang meneliti komposit Al/Al₄C₃ yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk bahwa peningkatan suhu sinter akan meningkatkan densitas dari benda uji.

Pengaruh penambahan alumina terhadap densitas dapat dilihat pada gambar 5. Penambahan Al₂O₃ sebaliknya akan menurunkan densitas relatifnya.

German (1994) menjelaskan bahwa campuran antara serbuk lunak dan keras akan menurunkan densitas. Pengaruh tersebut disebabkan pada

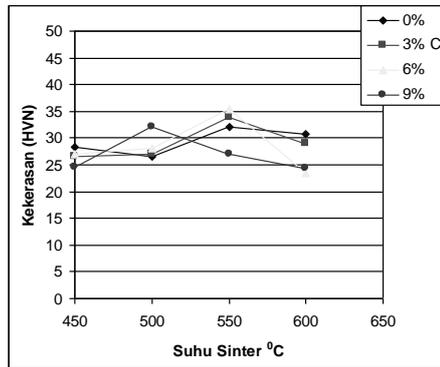
saat kompaksi, partikel lunak mengalami deformasi plastis sedang partikel keras hanya mengalami deformasi elastis.



Gambar 5. Grafik pengaruh kandungan Al₂O₃ terhadap densitas relatif

Pada penelitian ini campuran komposit adalah Al sebagai matrik bersifat lunak sedangkan Al₂O₃ sebagai penguat bersifat keras, kekerasan berkisar antara 1800 – 2000 HV. Jika campuran bahan ini dikompaksi, serbuk Al mengalami deformasi plastis, sedang Al₂O₃ mengalami deformasi elastis. Jika proses kompaksi telah selesai maka partikel keras akan kembali ke kondisi semula, sehingga akan menimbulkan tekanan pada partikel lunak yang telah terdeformasi plastis. Akibatnya pada batas butir antar partikel Al akan terjadi peregangan, *porous* menyebar di antara batas butir tersebut, sehingga ikatan menjadi lemah. Penyebab lain menurunnya densitas dengan bertambahnya jumlah Al₂O₃ adalah antar partikel Al₂O₃ yang saling bersentuhan tidak memungkinkan terjadinya sinter. Suhu sinter dalam penelitian ini maksimum pada suhu 600 °C, sedang untuk terjadinya sinter antar partikel Al₂O₃ diperlukan suhu yang lebih tinggi lagi, (suhu leleh alumina adalah 2054 °C, sedang suhu sinter untuk alumina adalah 1200 – 1700 °C)

Dari hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Vickers beban 15 kg, pengujian dilakukan terhadap masing-masing spesimen, diperoleh data-data yang ditampilkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengaruh variasi suhu sinter terhadap kekerasan dengan kandungan Al₂O₃

Variasi suhu sinter akan memberikan pengaruh terhadap kekerasan yaitu dengan meningkatnya suhu sinter cenderung meningkatkan kekerasan tertinggi pada suhu sinter 550 °C. Suhu sinter tertinggi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah 600 °C. pada suhu sinter 550 °C tersebut diperoleh kekerasan tertinggi sebesar 35 HV₁₅ pada komposit Al/6% berat Al₂O₃. Dengan bertambahnya suhu sinter hingga 600 °C maka kekerasan spesimen menurun, hal ini disebabkan karena terjadi pemanasan yang berlebih sehingga bahan mengalami pelunakan (anil).

Peningkatan kekerasan dapat juga dipengaruhi oleh adanya *strain hardening* (pengerasan regangan) dari partikel aluminium akibat tahanan kompaksi. Kalau bahan dideformasi pada temperatur rendah (relatif terhadap titik cairnya), maka pengerasan terjadi mengikuti deformasinya (Surdia, 1991). Gejala ini dinamakan pengerasan regangan atau pengerasan kerja. Hubungan antara tegangan sebenarnya dan regangan sebenarnya didekati oleh persamaan $\sigma = F\varepsilon^n$ dimana n adalah koefisien eksponen pengerasan, ε adalah regangan sebenarnya. Pengaruh tekanan kompaksi akan mempengaruhi besarnya deformasi (regangan / ε), semakin besar tekanan kompaksi maka akan semakin besar pula deformasinya. Dari persamaan tersebut di atas maka dengan meningkatnya deformasi maka akan meningkatkan kekuatan dari spesimen tersebut, sedang pengaruh dari suhu sinter terhadap pe-

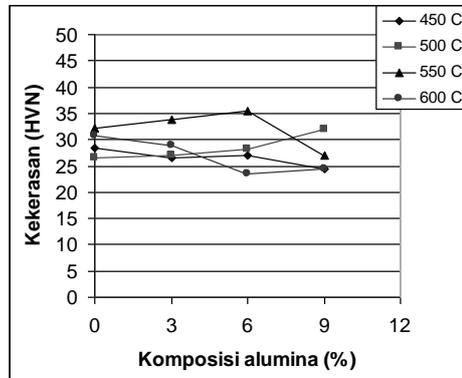
ngerasan regangan adalah sebaliknya. Pengaruh suhu akan menyebabkan terjadinya pelunakan, khususnya pada suhu tinggi.

Gambar 7 menunjukkan pengaruh penambahan Al₂O₃ terhadap kekerasan pada paduan Al. Pengaruh penambahan Al₂O₃ akan meningkatkan kekerasan, dimana kekerasan tertinggi terjadi pada penambahan Al₂O₃ sebesar 6% berat pada suhu sinter 550 °C. Sedangkan pengaruh suhu sinter secara keseluruhan pada masing-masing campuran komposit relatif tidak mengalami perubahan. Menurut persamaan *rule of mixture* apabila fraksi volume penguat Al₂O₃ meningkat maka kekerasan komposit Al/Al₂O₃ akan meningkat pula. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh serbuk penguat Al₂O₃ lebih keras (1800 – 2000 HV) dibandingkan dengan logam paduan Al.

Dengan meningkatnya penambahan Al₂O₃ kekerasannya relatif tidak mengalami perubahan, hal ini diakibatkan oleh jumlah *porous* bertambah besar, yang menyebabkan mekanisme penguat menjadi lemah. Pengaruh porositas terhadap kekerasan komposit lebih dominan, dibandingkan pengaruh unsur penguat dari serbuk alumina. Jika dibandingkan dengan penelitian Ejiomor dan Reddy (1997) yang meneliti pengaruh penambahan Al₂O₃ pada paduan logam *hypereutectoid* Al terhadap kekerasan. Bahwa penambahan 3% fraksi berat Al₂O₃ akan meningkatkan kekerasan, kekerasan meningkat dari 27 BHN menjadi 37 BHN. Teknik pengecoran jumlah porositas relatif lebih kecil dibandingkan metode metalurgi serbuk, sehingga faktor pengautan dari penambahan serbuk alumina lebih dominan, ditandai dengan meningkatnya kekerasan.

Aplikasi dari komponen *bushing* adalah untuk bantalan luncur pada poros. Menurut Sularso (1983) penggunaan bantalan luncur harus memiliki syarat kekerasan tertentu, contohnya pada logam putih Sn kekerasan yang diijinkan untuk bantalan 20 – 30 HB. Sedang pada komponen *bushing* ini kekerasan maksimal 35 HV pada kandungan 6 % Al₂O₃ dengan tekanan kompaksi 500 MPa. Berdasarkan syarat tersebut maka kompo-

nen *bushing* hasil penelitian dapat digunakan sebagai bantalan luncur.



Gambar 7. Grafik pengaruh kandungan Al_2O_3 terhadap kekerasan dengan variasi suhu sinter

KESIMPULAN

Meningkatnya suhu sinter meningkatkan densitas dari komposit paduan Al/ Al_2O_3 .

Penambahan partikel Al_2O_3 menurunkan densitas dari komposit paduan Al/ Al_2O_3 .

Meningkatnya suhu sinter terhadap kekerasan dari komposit paduan Al/ Al_2O_3 cenderung meningkat hingga suhu 550 °C.

Kekerasan optimal diperoleh pada komposit paduan Al/ Al_2O_3 dengan kandungan 6% berat Al_2O_3 yaitu tertinggi sebesar 35 HV₁₅ pada tekanan kompaksi 500 MPa.

Salah satu aplikasi dari metalurgi serbuk adalah pembuatan *bushing*. Hasil dari uji kekuatan *bushing* terhadap tegangan patah radial optimal pada kandungan 6% berat Al_2O_3 sebesar 17 MPa dengan tekanan kompaksi 500 MPa.

Pengamatan struktur mikro menunjukkan masih banyaknya porositas dari benda uji ditunjukkan pada densitas relatif hasil pengujian yang besarnya 80 hingga 91 %.

Analisa fase menunjukkan unsur paduan yang terdapat dalam matrik Al adalah Si, Fe, dan Mn.

Interface Antara matrik dan penguat masih terdapat celah sehingga menyebabkan terjadinya *debonding* antara matrik dan penguat tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, © 2001 *copyringth Composite Metal Technology Ltd*, <http://www.cmt.com>
- German, R. M., 1984, " *Powder Metallurgy Science*" Metal Powder Industries Federation, Princeton New Jersey.
- Hull, Derek ; 1981, " *An Introduction to Composite Matrials*" Cambridge University Press, Cambridge.
- Smith, William F, 1996, *Principles of Materials Science And Engineering*" Mc Graw – Hill Inc, New York.
- Surdia, Tata., Shinroko Saito, 1991., " *Pengetahuan Bahan Teknik*", cetakan 3, P.T. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suresh, Subra ; Mortensen, 1993, " *Fundamentals of Metal matrix Composites*, Butterworth Heinemann, Stoneham London.
- Van den Bergh, Mark R., 1998, *Aluminum MMC's-Current Status & Future Prospect: Commercial Applications*" Prosiding dalam Al MMC Corsortium <http://www.almmc.com>.
- Wu, S.Q., dkk, 2000, *The Mechanical and Thermal Expansion Behavior of An Al-Si Alloy Composite Reinforced with Potassium Titanate Whisker*" Prosiding Jurnal Composites Science and Technology 60 (2000) Hlm 2873-2880 <http://www.Elsevier.com/locate/compscitech>.