

# Pemanfaatan Limbah Abu Terbang Sebagai Penguat Aluminium Matrix Composite

Subarmono, Jamasri, M.W. Wildan dan Kusnanto  
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.  
Email: barmono-sbr@yahoo.com

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan abu terbang sebagai penguat komposit bermatrik aluminium (AMC). Abu terbang merupakan limbah pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap. Abu terbang sejumlah 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% berat dicampur dengan serbuk aluminium (ukuran serbuk lebih kecil dari 40  $\mu\text{m}$ ). Setiap campuran diaduk menggunakan rotay mixer selama 3 jam. Campuran aluminium dan abu terbang dikompaksi secara uniaksial dilanjutkan kompaksi secara isostatik dengan tekanan 100 MPa dan diikuti sintering tanpa tekanan dengan lingkungan gas argon dan variasi temperatur 500°C, 525°C, 550°C, 575°C dan 600°C. Kekuatan bending, kekerasan Vickers, ketahanan aus dan densitas komposit diuji serta struktur mikro diamati menggunakan SEM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sifat mekanis meningkat seiring dengan peningkatan fraksi berat abu terbang sampai 5% berat, selebihnya terjadi penurunan. Kekuatam bending, kekerasan Vickers, porositas dan laju keausan berturut-turut 74 MPa, 66 VHN, 4,5% dan 0,04 mg/(MPa.m).

Kata kunci: *Aluminum Matrix Composite*, abu terbang, kompaksi, isostatik.

## ABSTRACT

*This research aims to utilize fly ash which is obtained from waste of combustion of coal in steam power plant as a reinforcement of aluminum matrix composite (AMC). The amounts of fly ash of 2.5%, 5%, 7.5% and 10% wt were added to fine aluminum powder (dimension of particles are smaller than 40  $\mu\text{m}$ ). Each composition was mixed using a rotary mixer for 3 hr. The mixture was uniaxially pressed and it was followed by isostatic compaction with a pressure of 100 MPa to produce green bodies. They was pressureless sintered in argon atmosphere at various temperatures of 500°C, 525°C, 550°C, 575°C and 600°C. Bending strength, Vickers hardness, wear resistance, density of the AMC were tested, and the microstructures were observed using SEM. The results show that the mechanical properties increase with increasing the fly ash content up to 5% wt. The bending strength, hardness, porosity and wear rate are 74 MPa, 66 VHN, 4.5% and 0.04 mg/(MPa.m), respectively.*

**Keywords:** *Aluminum Matrix Composite, fly ash, isostatic, compaction.*

## PENDAHULUAN

Abu terbang (*fly ash*) adalah salah satu bahan sisa dari pembakaran bahan bakar padat terutama batu bara. Di Jawa-Bali banyak dijumpai pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dengan bahan bakar batu bara yaitu 43% dari kapasitas pembangkit 16000 MW yang menghasilkan bahan sisa berupa abu terbang sebanyak 320.000 ton/tahun setiap 1000 MW pembangkit, sehingga total abu terbang 2.201.600 ton/tahun [1]. Abu terbang akan menimbulkan pencemaran udara dan air tanah, sehingga perlu dicari solusi untuk mengatasi masalah dengan memanfaatkan abu terbang sebagai bahan konstruksi. Pengukuran yang dilaku-

kan oleh Saptohadi et al. menunjukkan bahwa abu terbang terdiri unsur utama 19,35%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 58,91%  $\text{SiO}_2$  dan 8,65%  $\text{CaO}$  [2]. Dari hasil pengukuran komposisi tersebut sangat memungkinkan bahwa abu terbang digunakan sebagai bahan penguat *metal matrix composite* (MMC) dengan matrix aluminium karena fraksi berat alumina dan silika yang cukup tinggi [3,4,5,6].

Komposit adalah dua bahan atau lebih yang berbeda digabung atau dicampur secara makroskopis. Pada umumnya komposit terdiri dari dua unsur utama yaitu penguat (*reinforcement*) dan bahan pengikat yang disebut *matrix*. Penguat adalah bahan utama yang menentukan karakteristik dari komposit seperti kekakuan, kekuatan, dan

ketahanan terhadap aus. Sedang *matrix* bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik [7]. Bahan penguat dapat berupa serat panjang, serat pendek, dan dalam bentuk partikel yang umumnya keras, kuat tetapi getas seperti boron, karbon, alumina dan SiC. Sedangkan bahan matriks dipilih bahan yang lunak seperti resin, keramik, aluminium, magnesium dan tembaga [8]. Penguat berbentuk partikel dapat meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus, sedang penguat serat panjang dapat meningkatkan kekuatan bending dan ketangguhan [9].

MMC dengan matrix aluminium (AMC) dan penguat serat boron, serat karbon, aluminium oksida dan silikon karbid menghasilkan AMC dengan kekuatan tinggi dan berat jenis rendah. Bahan ini sangat potensial sebagai bahan alternatif komponen kendaraan bermotor. Rawal menjelaskan bahwa serat boron dan *graphite* dapat menghasilkan AMC kekuatan tinggi, berat jenis rendah dan koefisien muai panjang rendah [8]. Sedangkan cara pembuatan AMC dapat dilakukan dengan cara penuangan [10,11], teknologi serbuk [3,12] dan *pressure infiltration* [4,5].

Pada penelitian ini akan dicari pengaruh fraksi berat abu terbang dan temperatur sintering terhadap sifat mekanis AMC.

### METODE PENELITIAN

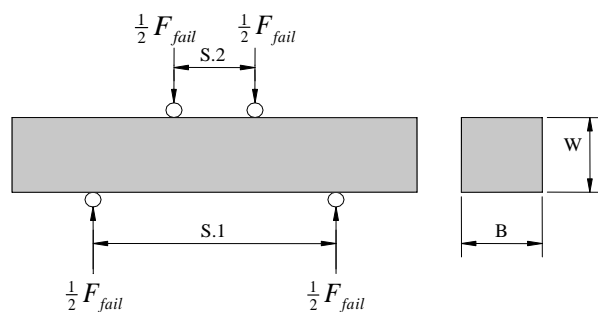
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk aluminium (Merck) buatan Jerman sebagai matrik dan abu terbang dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya Banten sebagai penguat. Abu terbang dengan variasi berat 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% dicampur dengan serbuk aluminium. Setiap komposisi diaduk menggunakan *rotary mixer* selama 3 jam. Campuran serbuk aluminium dan abu terbang dibuat *green body* dengan cara dikompaksi secara uniaksial dengan tekanan 100 MPa kemudian dilapisi karet tipis dan diikuti kompaksi secara isostatik di dalam minyak bertekanan 100 MPa. Selanjutnya *green body* disinter tanpa tekanan di lingkungan gas argon dengan variasi temperatur 500°C, 525°C, 550°C, 575°C dan 600°C. Benda uji hasil sinter diuji kekuatan bending, kekerasan Vickers, porositas dan ketahanan aus serta struktur mikro diamati menggunakan SEM.

Uji four point bending seperti Gambar 1 digunakan untuk mengukur kekuatan bending. Tegangan bending maksimum disebut juga *rupture modulus* ( $\sigma_{MOR}$ ) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{MOR} = \frac{My}{I} = \frac{3(S_1 - S_2)}{2.B.W^2} \times F_{fail} \quad (1)$$

Dalam hal ini:

- $F_{fail}$  = gaya tekan maximum (N)
- M = momen (Nmm)
- I = momen inerti (mm<sup>4</sup>)
- y = W/2 (mm)



Gambar 1. Uji Four Point Bending

Kekerasan komposit diukur menggunakan uji kekerasan Vickers, dan kekerasan Vickers dihitung sebagai berikut:

$$VHN = \frac{1,854P}{L^2} \quad (2)$$

Dalam hal ini:

- VHN = kekerasan Vickers (kg/mm<sup>2</sup>)
- P = gaya indentor (kg)
- L = diagonal bekas penekanan indentor (mm)

Prinsip Archimedes digunakan untuk mengukur densitas yaitu dengan cara menimbang benda uji di dalam air dan di udara. Densitas benda uji dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho_b = \frac{G_a}{(G_a - G_w)} \quad (3)$$

Dalam hal ini:

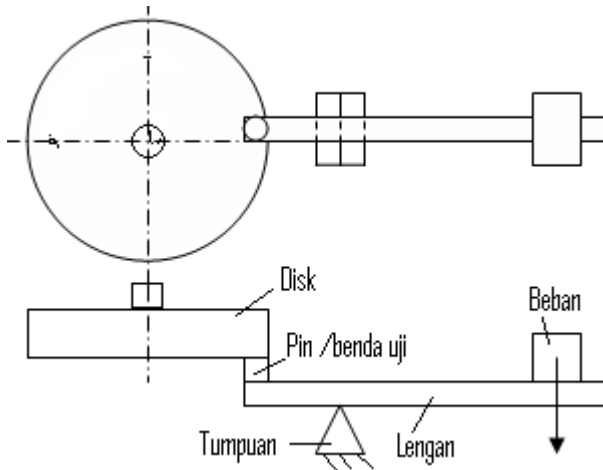
- $G_a$  = berat benda uji di udara
- $G_w$  = berat benda uji di air

Porositas dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Phi = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \quad (4)$$

Dalam hal ini  $\rho_t$  densitas teoritis

Ketahanan aus diuji menggunakan cara pin on disk. Disk dibuat dari besi tuang yang dipoles menggunakan kertas amplas nomer 1200. Disk diputar menggunakan spindel mesin frais dengan putaran 80 rpm, sedang pin (benda uji) dijepit pada ujung lengan, ujung lengan yang lain diberi beban (Gambar 2). Lama pengujian setiap benda uji adalah 10 menit. Sebelum dan sesudah pengujian benda uji ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 1 mg. Perbedaan berat sebelum dan sesudah pengujian adalah berat yang hilang karena gesekan.



Gambar 2. Skema Uji Keausan

Laju keausan didefinisikan sebagai berat yang hilang setiap satuan tekanan dan satuan jarak gesekan.

$$W_r = \frac{W \cdot A}{(Q \cdot S)} \text{ mg/(MPa.m)} \quad (5)$$

Dalam hal ini:

W = berat yang hilang

Q = gaya pada pin (50 N)

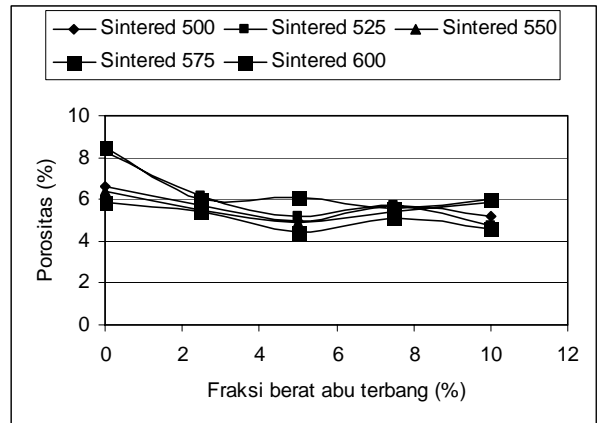
A = luas penampang pin (50 mm<sup>2</sup>)

S = panjang lintasan gerakan pin (452,4 m)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan pengaruh fraksi berat abu terbang terhadap porositas AMC. Porositas dihitung menggunakan persamaan 4, dalam hal ini densitas dihitung menggunakan persamaan 4. Hasil perhitungan dapat ditunjukkan dalam bentuk grafik seperti Gambar 3. Porositas pada berbagai temperatur sinter menunjukkan penurunan akibat naiknya fraksi berat abu terbang sampai 5%, fraksi berat abu terbang diatas 5% porositas AMC cenderung konstan. Porositas rendah pada komposit dengan fraksi berat abu terbang lebih rendah atau sama dengan 5% menunjukkan bahwa benda uji memiliki densitas relatif tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Hal ini dapat menjelaskan bahwa porositas dipengaruhi oleh fraksi berat abu terbang dan distribusi partikel abu terbang pada matrik. Bila fraksi berat abu terbang pada komposit rendah (kurang atau sama dengan 5%) maka distribusi partikel abu terbang baik atau merata dan setiap partikel abu terbang diselimuti oleh bahan matrik. Hal ini membuat interaksi atau ikatan antara partikel abu terbang dan bahan matrik sangat baik. Sebaliknya bila fraksi berat abu terbang pada komposit lebih dari 5% maka beberapa partikel abu terbang saling berimpit atau mengelompok, sehingga ikatan antara partikel abu terbang dan bahan matrik tidak sempurna. Hal ini

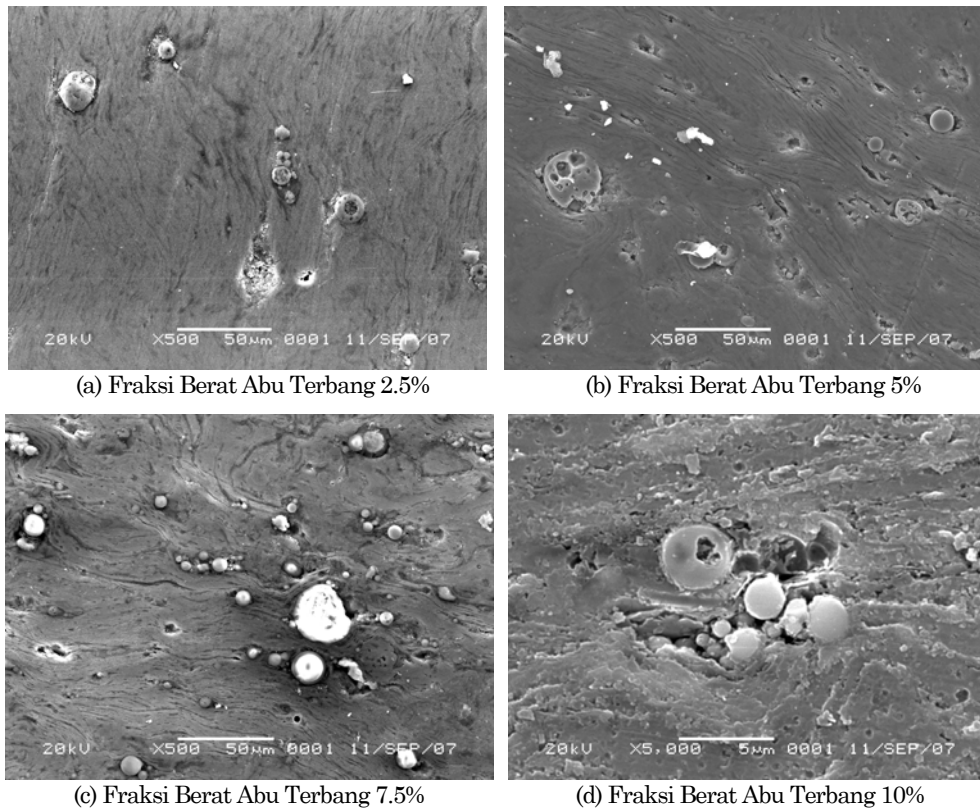
akan memunculkan rongga sehingga porositasnya meningkat (Gambar 4). Korelasi antara temperatur sinter dan struktur mikro komposit dengan fraksi berat 5% abu terbang ditunjukkan pada Gambar 5. Struktur mikro komposit juga menunjukkan bahwa porositas komposit menurun seiring dengan kenaikan temperatur sinter dari 500°C sampai 550°C dan kenaikan temperature sinter dari 550°C sampai 600°C porositasnya hampir sama, ini sesuai dengan hasil perhitungan yang ditampilkan pada Gambar 4.



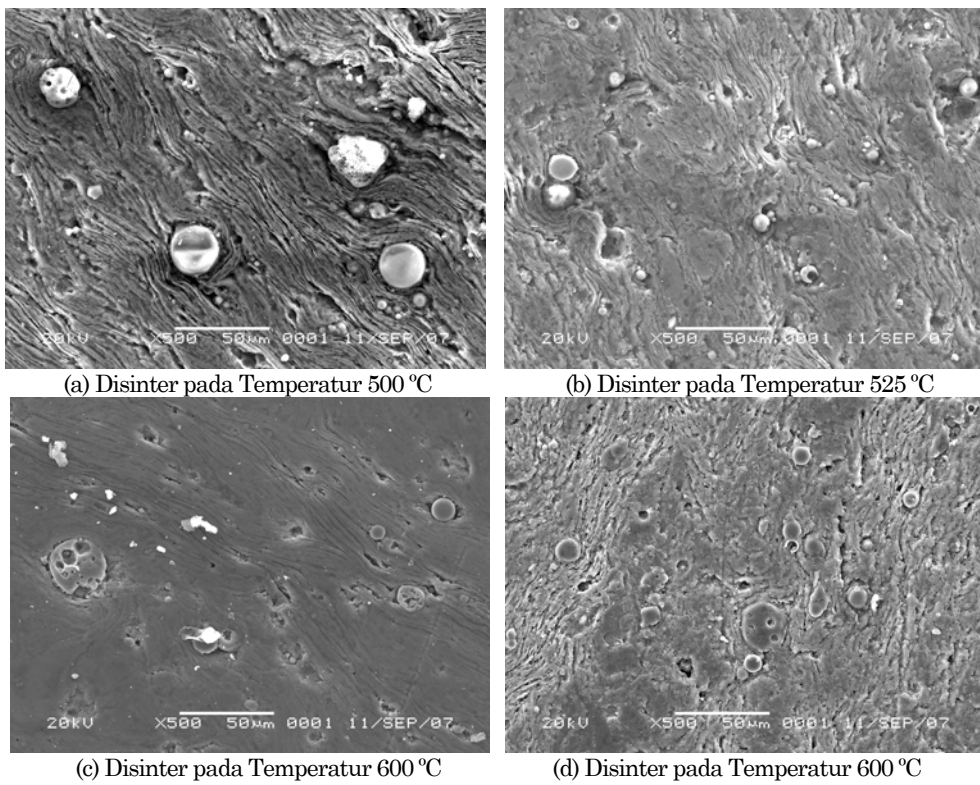
Gambar 3. Kurva Pengaruh Fraksi Berat Abu Terbang Terhadap Porositas AMC

Gambar 6 menunjukkan pengaruh fraksi berat abu terbang pada komposit terhadap kekuatan bending AMC. Kekuatan bending diuji menggunakan metode *four point bending test*. Kekuatan bending dihitung menggunakan Persamaan 1 dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6. Kekuatan bending cenderung meningkat seiring dengan kenaikan fraksi berat abu terbang pada komposit sampai 5%, kenaikan fraksi berat abu terbang diatas 7,5% kekuatan bendingnya cenderung turun. Kekuatan bending bahan yang getas sangat dipengaruhi oleh rongga dan retak karena hal tersebut menimbulkan konsentrasi tegangan yang tinggi dan berakibat pada turunya kekuatan bending. Dalam hal ini meningkatnya kekuatan bending pada komposit dengan fraksi berat abu terbang dari 0% sampai 5% adalah akibat menurunnya porositas AMC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.

Kekerasan komposit meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat abu terbang pada komposit sampai 7,5% untuk berbagai temperatur sintering. Peningkatan kekerasan dipengaruhi oleh dua hal. Pertama, seperti dijelaskan sebelumnya bahwa kenaikan fraksi berat abu terbang sampai 5% akan menurunkan porositas, hal ini berakibat kekerasannya meningkat. Kedua, abu terbang memiliki komposisi alumina dan silika relatif tinggi dan kedua komponen tersebut memiliki kekerasan

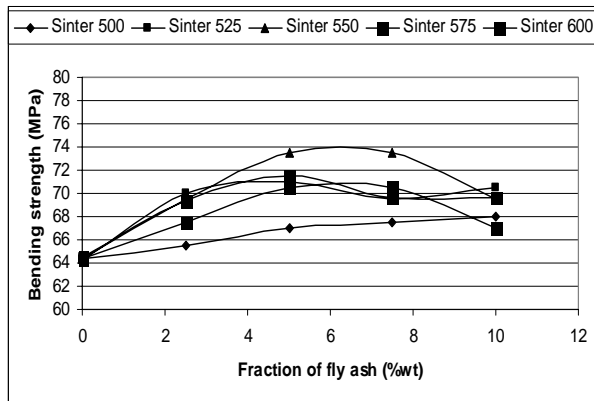


**Gambar 4. Struktur Mikro AMC yang Disinter Pada Temperatur 550°C dengan Variasi Fraksi Berat Abu Terbang**

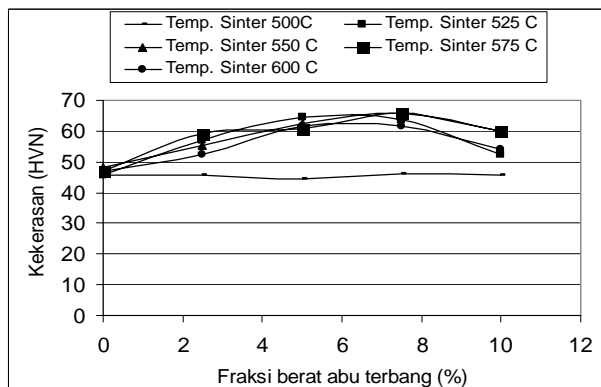


**Gambar 5. Struktur Mikro AMC dengan 5% Berat Abu Terbang dan Disinter pada Beberapa Tingkat Temperatur**

yang jauh lebih tinggi dibanding aluminium, sehingga abu terbang juga meningkatkan kekerasan. Pada kondisi khusus yaitu komposit yang disinter pada temperatur 500°C memiliki kekerasan Vickers yang konstan untuk berbagai fraksi berat abu terbang. Hal ini akibat proses sintering yang belum terjadi atau temperatur sinter yang masih terlalu rendah. Hal ini ditunjukkan oleh porositas benda uji yang masih tinggi (Gambar 5.a) sehingga ikatan antar partikel masih sangat lemah (Gambar 7).



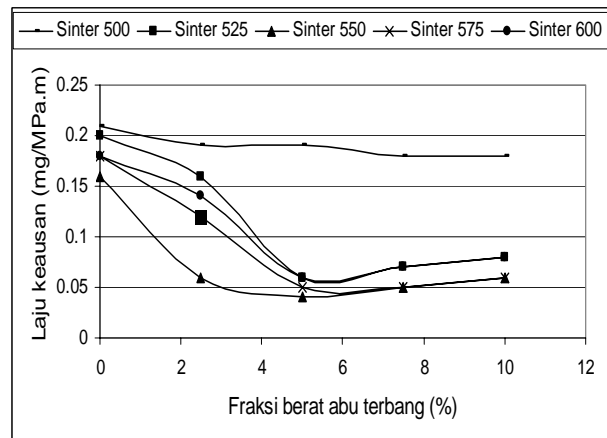
Gambar 6. Kurva Pengaruh Fraksi Berat Abu Terbang Terhadap Kekuatan Bending yang Disinter Pada Berbagai Temperatur



Gambar 7. Kurva Pengaruh Fraksi Berat Abu Terbang Terhadap Kekerasan Vickers AMC untuk Berbagai Temperatur Sinter

Bahan yang memiliki kekerasan lebih tinggi secara umum memiliki ketahanan aus lebih baik. Oleh karena itu ada korelasi antara kekerasan Vickers (Gambar 7) dengan laju keausan. Laju keausan menurun seiring dengan kenaikan fraksi berat abu terbang sampai 5% selebihnya laju keausan konstan. Laju keausan komposit disamping dipengaruhi oleh komponen bahan yang lebih keras (abu terbang) juga dipengaruhi oleh ikatan antara abu terbang dan bahan matrik (aluminium), sehingga AMC yang disinter pada temperatur 500°C laju keausannya tidak berubah walaupun fraksi berat abu terbangnya meningkat, hal ini akibat lemahnya ikatan antara abu terbang

dan bahan matrik (Gambar 8), hal ini juga diperkuat oleh struktur mikro benda uji yang disinter pada 500°C porositasnya masih tinggi (Gambar 5.a).



Gambar 8. Kurva Pengaruh Frasi Berat Abu Terbang Terhadap Laju Keausan AMC

### KESIMPULAN

Abu terbang dapat digunakan sebagai penguat aluminium matrix composite (AMC). Hal ini dapat dibuktikan dengan meningkatnya sifat mekanis (kekuatan bending, kekerasan dan ketahanan aus) AMC seiring dengan peningkatan kadar (fraksi berat) abu terbang sampai 5%. Sifat mekanis AMC juga meningkat seiring meningkatnya temperatur sinter sampai 550°C. Kekuatan bending, kekerasan Vickers, porositas dan laju keausan AMC 5% fraksi berat abu terbang yang dibuat dengan kompaksi isostatic 100 MPa dan sinter tanpa tekanan pada 550°C berturut-turut adalah 74 MPa; 66VHN; 4,5% dan 0,04 mg/(MPa.m).

### DAFTAR PUSTAKA

1. Adiwardoyo, "Pemanfaatan Energi Nuklir Guna Mendukung Ketahanan Energi" Nasional, Seminar nasional, FT-UGM, Yogyakarta. 2006.
2. Saptoadi H., Sumardi PC., Suhanan, "Compression Strength of Artificial Light Weight Aggregate Made From Fly Ash", Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin II Padang. 2003.
3. Mazen A.A., Ahmed A.Y., "Mechanical Behavior of Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> MMC Manufacture by PM Technique. Part I – Scheme I Processing Parameters", pp. 393-401, Journal of Materials Engineering and Performance, 1998.
4. Demir A., Altinkok N., "Effect of Gas Pressure Infiltration on Microstructure and Bending Strength of Porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiC-Reinforced Aluminum Matrix Composites", pp. 2067-2074, Journal of Composites Science And Technology, Elsevier, 2004.

5. Ahlatci H., Kocer T., Candan E., Cimenoglu H., "Wear Behavior of Al/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> +SiC) Hybrid Composite", pp.1-8, Journal of Tribology, Elsevier, 2005.
6. Al-Qutub, A.m., Allam, I.M., Qureshi, T.W., "Effect of Sub-micron Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Concentration on Dry Wear Properties of 6061 Aluminum Based Composite", Materials Processing Technology, Elsevier, 2005.
7. Hadi BK., "Mekanika Struktur Komposit", Penerbit ITB, Bandung, 2000.
8. Rawal S., "Metal Matrix Composites for Space Applications", Journal JOM pp 14-17, 2001.
9. Schwartz, M. M., 1984, *Composite Materials Hand Book*, McGraw Hill, New York.
10. Sevik H.,Can Kurnaz S., "Properties of Alumina Particulate Reinforced Aluminum Alloy Produced by Pressure Die Casting", pp.1-8, Journal of Materials and Design, Elsevier, 2005.
11. Sahin Y., "Preparation and Some Properties of SiC Particle Reinforced Aluminum Alloy Composites", pp.671-679, Journal of Materials and Design, Elsevier, 2003.
12. Zhang H., Ramesh K.T., Chin E.S.C., "High Strain Rate Response of Aluminum 6092/B4C Composites", pp. 26-34. Journal of Materials science and Engineering, Elsevier, 2004.