

Pengaruh Penambahan Fraksi Berat *Zirconia* terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Aluminium Diperkuat *Zirconia* yang Diproduksi dengan Metalurgi Serbuk

Bayu Satriya Wardhana
Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Brawijaya
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang
Telp. (0341) 554291, 569103, Fax.(0341)554291
Email :wardhanabayu@ub.ac.id

Abstract

This research aims to utilize zirconia (ZrO_2) as a reinforcement of aluminum matrix composite (AMC). ZrO_2 powder of 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, and 15% wt were added to fine aluminum powder (dimension of particles are smaller than 40 μm). Each composition was mixed using a turbula mixer for 2 hr. The mixture was uniaxially pressed with a pressure of 300 MPa to produce green bodies. They were pressure less sintered in argon atmosphere at temperature of 600°C. Relative density, Vickers hardness, and bending strength of the AMC were tested. The results show that the hardness increases with increasing the ZrO_2 content up to 5% wt whereas wear rate decrease. Relative density and Vickers hardness of composite containing 5% ZrO_2 are 89%, 34 HV15 and 0.076 mg/(MPa.m), respectively. Maximum bending strength was reach on 7.5% ZrO_2 adding on 37,66 MPa.

Keyword : Aluminum Matrix Composite, zirconia, uniaxial compaction

PENDAHULUAN

Trend perkembangan material yang digunakan oleh komponen otomotif saat ini adalah material yang memiliki *specific strength* baik; yaitu ringan tetapi memiliki kekuatan yang tinggi[1]. Hal itu karena dengan penggunaan material yang ringan, konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh sebuah kendaraan juga semakin kecil[2].

Dalam dunia mesin/industri, beberapa komponen bekerja dalam kondisi bergesekan (saling kontak satu dengan yang lain), sehingga harus memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi. Beberapa contoh komponen yang bekerja dalam kondisi bergesekan adalah piston, silinder, *camshaft*, *bushing*, roda gigi dan lain-lain.

Selama ini, material yang banyak digunakan dalam industri otomotif adalah aluminium karena sifatnya yang ringan, tangguh dan memiliki ketahanan korosi yang baik[3]. Namun demikian, aluminium memiliki kekurangan yaitu tingkat kekerasan yang relatif rendah. Kekerasan yang rendah menyebabkan ketahanan aus pada aluminium menjadi rendah.

Serbuk zirconia (ZrO_2) merupakan bahan keramik yang keras dan memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Zirconia sendiri dalam bentuk *partially stabilized* dikenal mempunyai kemampuan untuk mendisipasi *crack*, sehingga sangat sesuai apabila dipadukan dengan aluminium untuk menghasilkan material komposit yang memiliki kekerasan dan ketahanan aus yang lebih baik [4].

Pada penelitian ini serbuk ZrO_2 sebanyak 0%; 2,5%; 5%; 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% fraksi berat dicampur dengan serbuk aluminium untuk menghasilkan komposit. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh temperatur sinter dan penambahan partikel penguat ZrO_2 terhadap densitas relatif komposit Al- ZrO_2 , dan mengetahui pengaruh penambahan partikel penguat ZrO_2 terhadap sifat fisik(densitas relatif dan struktur mikro) dan sifat mekanik(kekerasan Vickers, laju keausan, dan kekuatan bending) komposit Al- ZrO_2 .

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah serbuk aluminium buatan Merck (Jerman) dengan dimensi $\pm 100 \mu\text{m}$ sebagai matrik dan serbuk zirconia (ZrO_2) buatan Goodfellow (UK) dengan dimensi $0,1-2 \mu\text{m}$ sebagai penguat. Keramik ZrO_2 dengan fraksi berat sebesar 2,5%; 5%; 7,5%, 10%, 12,5% dan 15% dicampur dengan serbuk aluminium. Setiap komposisi diaduk menggunakan *rotary mixer* selama 2 jam dan kemudian dilanjutkan dengan proses kompaksi uniaksial. Pada penelitian ini terdapat dua macam spesimen, yaitu berbentuk silinder (untuk uji densitas, mikrostruktur, kekerasan dan keausan) dengan diameter 8 mm dan tinggi sebesar 10 mm, serta mendapatkan tekanan kompaksi sebesar 300 MPa. Sedangkan khusus untuk pengujian bending, spesimen berbentuk balok dengan dimensi panjang, lebar, dan tinggi masing-masing sebesar 50 mm x 7 mm x 8 mm serta mendapatkan tekanan kompaksi sebesar 150 MPa.

Setelah proses kompaksi/penekanan selesai dilakukan, proses berikutnya adalah proses sinter tanpa tekanan di lingkungan gas argon. Untuk percobaan pertama dilakukan sinter dengan variasi temperatur 550°C , 575°C dan 600°C dengan maksud mendapatkan temperatur sinter optimal. Temperatur sinter optimal ditentukan dengan melakukan uji densitas, dimana spesimen yang memiliki densitas paling tinggi adalah yang terbaik. Pada penelitian ini didapatkan bahwa temperatur terbaik untuk proses sinter adalah 600°C , sehingga pada proses berikutnya semua benda uji dilakukan proses sinter pada temperatur tersebut. Setelah semua benda uji dilakukan proses sinter, tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian sifat fisik (densitas relatif dan foto mikro) dan sifat mekanik (kekerasan Vickers, ketahanan aus, dan kekuatan bending).

Pengamatan Struktur Mikro diawali dengan proses pengamplasan spesimen (nomer amplas 500, 800 dan 1000), kemudian dipoles dengan autosol, dan dilanjutkan etsa menggunakan larutan asam florida (HF). Setelah itu struktur mikro dan *interface* antara matrik dan penguat spesimen diamati dengan *scanning electron microscopy* (SEM).

Prinsip Archimedes digunakan untuk mengukur densitas spesimen; yaitu membandingkan berat spesimen di dalam fluida dan di udara. Densitas benda uji dapat dihitung sebagai berikut:

$$\rho_c = \frac{W_{udara}}{(W_{udara} + W_{fluida})} \times \rho_{fluida} \quad (1)$$

Dalam hal ini :

ρ_c = berat jenis spesimen (g.cm^{-3})

ρ_{fluida} = berat jenis fluida (g.cm^{-3})

W_{udara} = berat udara (g)

W_{fluida} = berat fluida (g)

Densitas relatif diukur dengan membandingkan antara berat jenis hasil pengujian dengan berat jenis teoritis.

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_c}{\rho_t} \times 100 \% \quad (2)$$

Dalam hal ini :

ρ_{rel} = berat jenis relatif (g.cm^{-3})

ρ_c = berat jenis hasil pengujian (g.cm^{-3})

ρ_t = berat jenis teoritis (g.cm^{-3})

Pengujian kekerasan dengan metode Vickers dilakukan sebanyak 10 titik untuk masing-masing spesimen, kemudian diambil reratanya. Besar beban yang digunakan adalah 15 kg. Kekerasan Vickers dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$VHN = \frac{1,854 P}{d^2} \quad (3)$$

Dalam hal ini:

VHN : kekerasan Vickers (kg.mm^{-2})

P : gaya indentor (kg)

d : diagonal bekas penekanan indentor (mm)

Ketahanan aus diuji menggunakan metode *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 1). Lama pengujian setiap benda uji adalah 10 menit. Benda uji

ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 1 mg. Perbedaan berat sebelum dan sesudah pengujian adalah berat yang hilang karena gesekan.

$$Wr = \frac{W \cdot A}{(Q \cdot S)} mg/(MPa \cdot m) \tag{4}$$

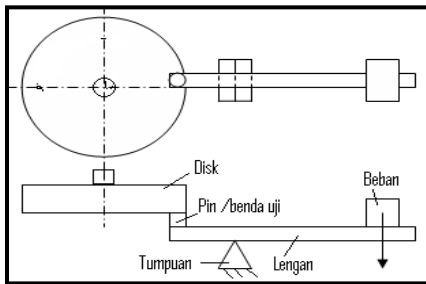
Dalam hal ini:

W = berat yang hilang

Q = gaya pada pin (50 N)

A = luas penampang pin (50,24 mm²)

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



Gambar 1. Uji Keausan

Pengujian bending menggunakan metode *four point bending* standar JIS R 1601 (Gambar 2) digunakan untuk mengukur kekuatan bending. Tegangan bending maksimum disebut juga *rupture modulus* (σ_{MOR}) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_{MOR} = \frac{3(S_1 - S_2)}{2BW^2} \times F_{fail} \tag{5}$$

Dalam hal ini :

σ_{MOR} = Modulus of rupture (N.mm⁻²)

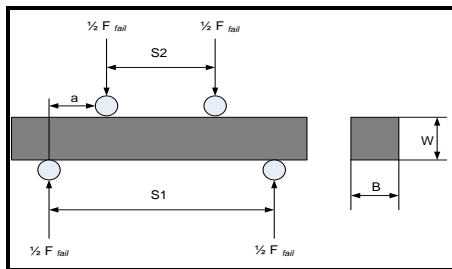
F_{fail} = beban bending maksimum (N)

S2 = jarak antar tumpuan (mm)

S1 = jarak antar beban (mm)

B = lebar spesimen (mm)

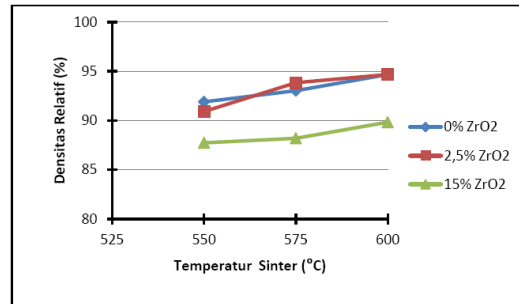
W = tebal spesimen (mm)



Gambar 2. Uji Four Point Bending

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur sinter akan meningkatkan densitas relatif komposit. Hal ini karena apabila energi panas yang diberikan dalam proses sinter tersedia dalam jumlah yang cukup, peluang untuk tercapainya *final stage* pada proses sinter semakin besar. Apabila kondisi *final stage* ini tercapai maka ukuran porous akan semakin mengecil/menyusut sehingga densitas relatif akan meningkat[5]. Pada penelitian ini temperatur sinter hanya dibatasi sampai 600°C karena apabila melebihi batas tersebut, dikhawatirkan Al sudah meleleh sehingga terjadi perubahan bentuk pada spesimen.



Gambar 3. Pengaruh Temperatur Sinter terhadap Densitas Relatif Komposit Al-ZrO₂

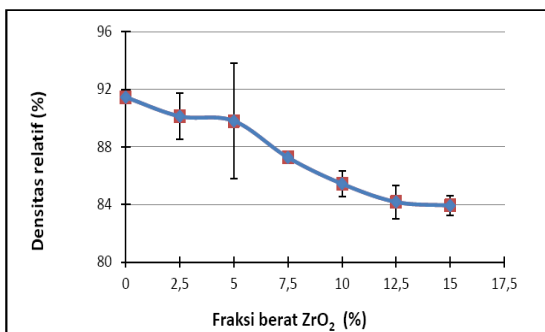
Hasil foto mikro (Gambar 4) menunjukkan bahwa pada spesimen masih terdapat porositas dan belum terjadi ikatan yang optimal antara matriks dan penguat. Hal itu dimungkinkan karena pada proses metalurgi serbuk konvensional tekanan dan panas diberikan secara terpisah, sehingga matriks dan penguatnya tidak berikatan dengan baik[5]. Foto mikro juga menunjukkan adanya penggumpalan/*agglomerasi* di beberapa tempat.



Gambar 4. Foto Mikro Komposit Al-ZrO₂ (pembesaran 20000x)

Densitas relatif akan semakin turun seiring dengan penambahan fraksi berat partikel ZrO₂(Gambar5). Pengaruh tersebut disebabkan pada saat kompaksi, partikel lunak mengalami deformasi plastis sedangkan partikel keras hanya mengalami deformasi elastis [5].

Pada penelitian ini campuran komposit adalah alumunium sebagai matrik bersifat lunak sedangkan ZrO₂ sebagai penguat bersifat keras (12,5 GPa - VHN). Jika campuran bahan ini dikompaksi, serbuk alumunium mengalami deformasi plastis, sedang ZrO₂ mengalami deformasi elastis. Setelah proses kompaksi 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 sehingga *porous* menyebar di antara batas tersebut[5].

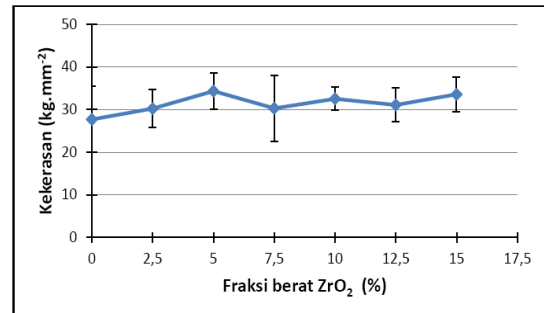


Gambar 5.Pengaruh fraksi berat ZrO₂ terhadap densitas relatif komposit Al-ZrO₂

Kekerasan komposit akan meningkat seiring dengan meningkatnya fraksi berat ZrO₂ dan akan mencapai titik tertinggi pada fraksi berat 5% yaitu sebesar 34,34 HV₁₅(Gambar 6). Peningkatan kekerasan ini dipengaruhi oleh bertambahnya komposisi partikel ZrO₂ yang memiliki kekerasan tinggi dalam komposit [4, 6]

Setelah penambahan fraksi berat lebih dari 5%, kekerasan komposit Al-ZrO₂ akan cenderung konstan/turun. Penurunan ini disebabkan oleh semakin banyaknya *porous* yang terbentuk dalam komposit akibat jumlah partikel penguat yang tidak tersinter semakin besar [7]. Selain itu partikel penguat yang tadinya diharapkan akan mengisi porous dan

terikat oleh matriknya ternyata berukuran terlalu kecil, sehingga hanya mengisi/menempati dasar porous (Gambar 3).



Gambar 6.Pengaruh fraksi berat ZrO₂ terhadap kekerasan komposit Al-ZrO₂

Kekerasan sebuah komposit AMC sangat ditentukan oleh kekerasan partikel penguat dan proses pembuatan komposit yang dipilih. Partikel ZrO₂ yang terikat baik oleh matrik alumunium akan membentuk suatu daerah dengan kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan daerah yang mendapatkan sedikit penguat atau tanpa penguat sama sekali. Interaksi yang baik antara matrik dan penguat akan menyebabkan kekerasan komposit meningkat [9]

Untuk lebih meyakinkan tentang hasil kekerasan yang didapatkan, selain membandingkan hasil uji kekerasan dengan penelitian lain yang menggunakan bahan ataupun metode yang berbeda, maka dilakukan penghitungan kekerasan teoritis komposit Al-ZrO₂. Kekerasan suatu komposit akan dipengaruhi oleh kekerasan matrik dan partikel penguat, fraksi volume serta derajat kontak antar partikel. Derajat kontak antar partikel ini menunjukkan hubungan antara partikel penguat dengan matrik, maupun interaksi antar partikel penguat sendiri. Berikut ini adalah rumusan yang digunakan untuk memprediksi kekerasan komposit[9]

$$H_c = H_p G v_p + H_m v_m (1 - G) \tag{6}$$

Dimana :

- H_c : kekerasan komposit
- H_p : kekerasan partikel penguat

- H_m : kekerasan matrik
- G : derajat kontak partikel
- v_p : fraksi volume partikel penguat
- v_m : fraksi volume matrik

$$G = 2S_{pp}/2S_{pp} + S_{mp} \tag{7}$$

Dimana :

- S_{pp} : Area kontak rata-rata antar partikel
- S_{mp} : Area kontak rata-rata antara partikel dengan matrik

Dengan :

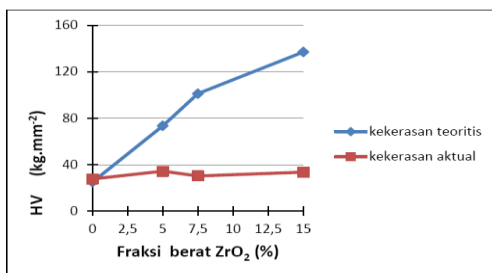
- H_p : 1250 kg.mm-2 = 12 GPa (spesifikasi produk)
- H_m : ± 25 kg.mm-2 [4],[7]

Dengan menggunakan rumusan dan data di atas maka kekerasan Al-ZrO₂ dapat diprediksi seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Prediksi kekerasan komposit Al-ZrO₂

Fraksi berat ZrO ₂ (%)	v_p	v_m	S_{pp} (%) *	S_{mp} (%) *	G	H_c (kg.mm ⁻²)	Kekerasan Aktual HV15 (kg.mm ⁻²)
0	0	1	0	0	0	25	27,682
5	0,024	0,976	0,5	4,5	0,1818	73,43	34,342
7,5	0,036	0,964	0,75	6,75	0,1818	101,03	30,291
15	0,075	0,925	1	14	0,125	137	33,564

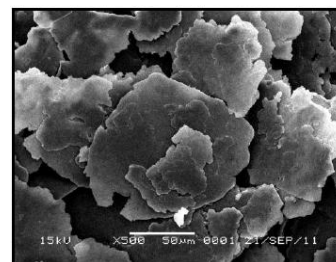
*) Diperoleh dari pengolahan gambar hasil pencitraan SEM



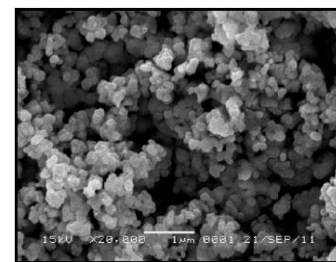
Gambar 7. Grafik perbandingan kekerasan teoritis dan kekerasan aktual komposit Al-ZrO₂

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kekerasan teoritis yang didapatkan dari perhitungan dengan kekerasan aktual yang didapatkan dari hasil pengujian. Dari grafik

terlihat bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kekerasan teoritis dan kekerasan aktual. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya adalah proses sinter yang kurang sempurna serta interaksi antara matrik dan penguat yang kurang baik. Sinter tidak dapat berjalan dengan baik akibat terdapatnya lapisan oksida pada serbuk alumunium. Hal ini dibuktikan oleh pengujian EDX (Gambar 9) pada serbuk alumunium yang menyatakan bahwa kandungan Al₂O₃ cukup tinggi (15%). Sedangkan interaksi antara matrik dengan penguat tidak berlangsung dengan baik akibat perbedaan ukuran partikel yang terlalu jauh. Serbuk alumunium berukuran rata-rata <100 μm (Gambar 8.a) sedangkan partikel ZrO₂ berukuran rata-rata 0,1-2 μm (Gambar 8.b).

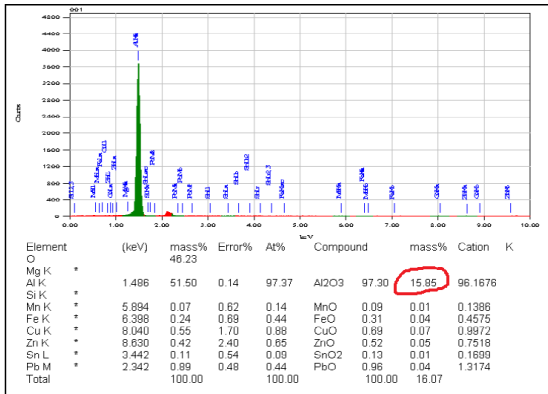


(a)



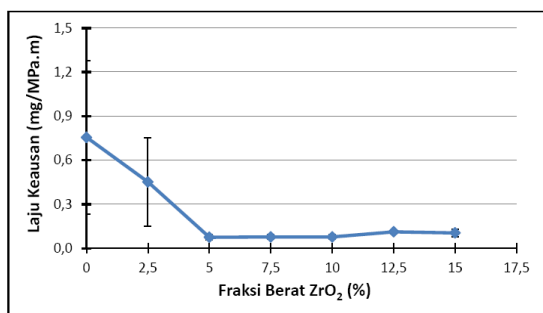
(b)

Gambar 8. (a) Serbuk Al (pembesaran 500 x) (b) Serbuk ZrO₂ pembesaran 20000x (pada saat pengambilan gambar)



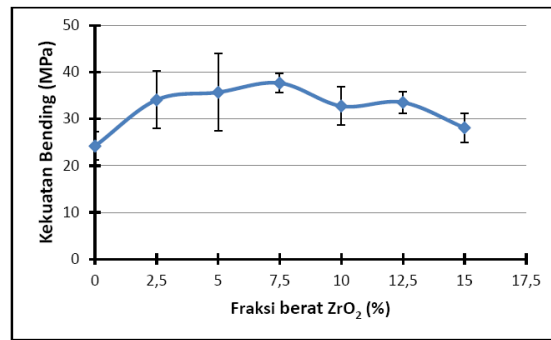
Gambar 9. Hasil Uji komposisi serbuk aluminium dengan EDX

Laju keausan menurun seiring dengan kenaikan fraksi berat ZrO₂ sampai 5%, dan selanjutnya akan cenderung konstan. Laju keausan terendah terdapat pada penambahan fraksi berat ZrO₂ 5% yaitu sebesar 0,076 mg/MPa.m (Gambar 10). Laju keausan komposit disamping dipengaruhi oleh komponen bahan yang lebih keras (ZrO₂) juga dipengaruhi oleh ikatan antara ZrO₂ dan bahan matrik. Jumlah partikel ZrO₂ yang semakin banyak tidak lagi menurunkan laju keausan secara signifikan karena ikatan antara ZrO₂ dan aluminium semakin lemah akibat perbandingan komposisi penguat dan matrik pada komposit tidak ideal lagi. Akibatnya banyak partikel ZrO₂ yang tidak terikat dengan baik oleh matrik sehingga mudah terlepas ketika dilakukan pengujian keausan.

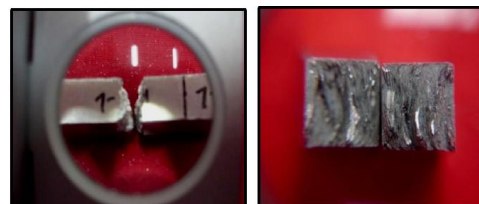


Gambar 10. Pengaruh fraksi berat ZrO₂ terhadap laju keausan komposit Al-ZrO₂

Hasil pengujian bending menggunakan metode *four point bending test* menunjukkan bahwa kekuatan bending komposit meningkat seiring dengan penambahan partikel penguat ZrO₂. Peningkatan maksimum terjadi pada persentase ZrO₂ 7,5 % yaitu sebesar 37,66 MPa. Setelah 7,5 % penambahan partikel ZrO₂ akan menyebabkan kekuatan bending cenderung turun (Gambar 11). Penurunan ini disebabkan karena porous yang terbentuk pada komposit akan semakin banyak seiring bertambahnya jumlah partikel ZrO₂. Selain itu perbedaan koefisien muai panas antara partikel ZrO₂ dengan aluminium menyebabkan terjadinya tegangan sisa tekan pada permukaan *interface* antara penguat dengan matrik sehingga menurunkan kekuatan komposit [8]. Kekerasan partikel penguat yang tinggi mengakibatkan sifat komposit Al-ZrO₂ menjadi cenderung getas. Hal ini dibuktikan oleh pola perpatahan yang ditunjukkan oleh spesimen uji bending (Gambar 12).



Gambar 11. Pengaruh fraksi berat ZrO₂ terhadap kekuatan bending komposit Al-ZrO₂



(a) (b)

Gambar 12. Foto makro spesimen uji bending komposit Al-ZrO₂, (a) penampang membujur (b) penampang melintang

KESIMPULAN

Penambahan partikel ZrO_2 yang secara teori seharusnya meningkatkan densitas teoritis komposit, ternyata justru menurunkan *bulk density*, sehingga densitas relatif komposit Al- ZrO_2 turun. Hal ini disebabkan oleh terjadinya porous yang semakin banyak pada komposit Al- ZrO_2 seiring dengan peningkatan fraksi berat ZrO_2 . Densitas relatif tertinggi dicapai pada penambahan 0% fraksi berat ZrO_2 dan temperatur sinter $600^\circ C$, yaitu sebesar 94,67%.

Kekerasan komposit Al- ZrO_2 meningkat seiring dengan peningkatan fraksi berat ZrO_2 dan mencapai titik optimal pada penambahan 5% fraksi berat ZrO_2 yaitu sebesar 34 HV_{15} . Laju keausan komposit Al- ZrO_2 menurun seiring dengan peningkatan fraksi berat ZrO_2 dan mencapai titik terendah pada penambahan 5% Al- ZrO_2 yaitu sebesar 0,076 mg/MPa.m. Kekuatan bending komposit Al- ZrO_2 meningkat seiring dengan peningkatan fraksi berat ZrO_2 dan mencapai titik tertinggi penambahan 7,5% fraksi berat ZrO_2 yaitu sebesar 37,66 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dale, Mike, 2012. "New Vehicle Technology Driven By Economics". ProQuest Career and Technical Education: Science & Technology: pg. 38.
- [2] Casadei, A. dan Broda, R., 2007. "Impact of Vehicle Weight Reduction on Fuel
- [3] Surdia, T. dan Shinroko S., 1991, "Pengetahuan Bahan Teknik", cetakan 3 PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4] Ejiolor, J.U., Okorie B.A. dan Reddy R.G., 1997, "Powder Processing and Properties of Zircon-Reinforced Al-13,5Si-2.5Mg Alloy Composite", Journal of Materials Engineering and Performance Vol 6 (No.3) : p326-334.
- [5] German, R.M., 1984, "Powder Metallurgy Science", Metal Powder Industries Federation, Princeton New Jersey.
- [6] Okafor, E.G. dan Aigbodion V.S., 2010, "Effect of Zircon Silicate Reinforcements on the Microstructure and Properties of as Cast Al-4.5Cu Matrix Particulate Composites Synthesized via Squeeze Cast Route", Journal Tribology in industry Vol. 32 (No. 2).
- [7] Rusianto, T., 2004, "Sifat fisis dan mekanis komposit paduan Al-Si/Al₂O₃ yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk", Tesis Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin UGM.
- [8] Wang, H., Rui Z., Xing H., Chang-An W., dan Yong H., 2008, "Characterization of a powder metallurgy SiC/Cu-Al composite", Journal of Materials Processing Technology Vol. 197 : p43-4
- [9] Warren, R., 1992, "Ceramic-Matrix Composite", Published in the USA by Chapman and Hall, New York