

## STUDI PENAMBAHAN MgO SAMPAI 2 % MOL TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK KERAMIK KOMPOSIT Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – ZrO<sub>2</sub>

Meilinda Nurbanasari  
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional, Bandung  
Dani Gustaman Syarif, Drs., M.Eng  
Pusat Teknologi Nulir Bahan dan Radiometri, BATAN, Bandung  
Emanuel Gulo, ST  
Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional, Bandung

### ABSTRAK

*Penggunaan alumina di bidang industri saat ini sudah semakin meluas misalnya sebagai bahan cutting tool dan die. Sifat yang khas dari alumina antara lain memiliki sifat kekerasan tinggi tetapi ketangguhan retaknya rendah. Untuk meningkatkan ketangguhan retaknya, alumina perlu dicampur dengan bahan lain misalnya zirkonia (ZrO<sub>2</sub>) disertai dengan penambahan aditif tertentu sehingga akan terbentuk komposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikro alumina-zirkonia dengan penambahan aditif MgO.*

*Penelitian dilakukan dengan menyinter pelet Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> yang diberikan MgO sebanyak sampai 2 % mol pada suhu 1500°C dan atmosfer udara selama 2 jam, kemudian dilakukan pengukuran densitas pelet, kekerasan, ketangguhan retak dan analisa pelet sinter dengan menggunakan mikroskop optik, mikroskop electron (SEM, Scanning Electron Microscop), dan difraksi sinar-x (XRD, X-Ray Diffraction).*

*Hasil pengukuran densitas memperlihatkan bahwa penyinteran pada suhu 1500° C dapat menghasilkan pelet keramik komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> dengan densitas yang tinggi. Penambahan aditif MgO menunjukkan peningkatan densitas pelet sinter. Sementara itu, hasil analisa difraksi sinar-X memperlihatkan bahwa di dalam pelet sinter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> terdapat fase kedua MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Hasil analisis metalografi memperlihatkan bahwa ukuran butir pelet sinter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> bertambah besar dengan semakin besarnya konsentrasi MgO yang ditambahkan. Hasil uji kekerasan dan ketangguhan retak menunjukkan adanya kenaikan kekerasan dan ketangguhan retak pada penambahan aditif MgO sebesar 0,5 %.*

*Kata kunci: keramik, komposit, Sinter*

### PENDAHULUAN

Sifat tangguh dan plastis yang dimiliki komposit keramik alumina zirkonia bertujuan agar keramik jenis ini tidak mudah pecah dalam penggunaannya, serta mudah dalam pembentukannya. Sifat tersebut dapat dibentuk dengan mengatur komposisi alumina zirkonia dan dapat pula dibantu dengan memberikan bahan penstabil atau aditif<sup>[1]</sup>. Komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> dapat kehilangan sifat tangguhannya jika sebagian Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mempunyai butiran (grain) dengan ukuran sangat beragam yaitu terdapat ukuran butir sangat besar dan sangat kecil secara bersama-sama, sekaligus bentuk yang tidak beraturan.

Dengan anggapan bahwa material batas butir mengurangi pertumbuhan butir yang tidak beraturan, maka diduga dengan menambahkan zat aditif tertentu sifat mekanik komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> dapat diperbaiki. Berdasarkan diagram fasa Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – MgO terdapat kemungkinan pembentukan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Jadi dengan menambahkan MgO sebagai aditif kedalam komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - ZrO<sub>2</sub> diduga dapat mencegah pertumbuhan butir yang tidak beraturan dan sebagai gantinya membentuk butir-butir yang beraturan. Studi mengenai MgO sebagai zat aditif telah banyak dilakukan namun penggunaannya sampai 2 % mol kedalam Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> belum dilakukan, oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penambahan MgO sampai 2 % Mol dilanjutkan dengan sinter pada temperatur 1500°C dan kemudian akan diamati pengaruhnya terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketangguhan retak keramik komposit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>.

### TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum baik logam maupun keramik bila dibuat dengan teknik metalurgi serbuk akan melalui proses pemebntukan dan pembakaran. Pada saat pembakaran ini, terjadi penyusutan yang menyebabkan pemadatan (*densifikasi*) yang dikenal sebagai sintering<sup>[1]</sup>. Keramik Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan kemurnian yang tinggi (> 99,0%) membutuhkan proses sintering pada suhu yang mendekati titik lebur Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[W.E.Worral, 1986]</sup>. Ada beberapa alternatif untuk menurunkan suhu sintering sekaligus dapat memberikan perbaikan pada karakteristik maupun sifat-sifat produk keramik, antara lain dengan memperkecil ukuran butir dari bahan baku keramik hingga

mencapai ukuran kurang dari 1  $\mu\text{m}$ . Ukuran butir yang sangat halus serta bentuk ukuran partikel yang homogen dapat mempercepat proses pematangan<sup>[2]</sup>. Alternatif lain adalah dengan menambahkan bahan aditif yang dapat menurunkan titik lebur bahan, tetapi bahan aditif tersebut tidak memberikan efek negatif terhadap sifat-sifat produk keramik yang dihasilkan<sup>[1]</sup>.

Pertimbangan yang penting dalam proses sintering adalah pertumbuhan kristal pada temperatur yang jauh lebih rendah daripada temperatur formasi cairan. Sintering sesungguhnya dimanifestasi oleh tumbuhnya kristalit dan bertambahnya densitas yang kompak, biasanya mulai terjadi pada temperatur 0,55 sampai 0,6 dari titik lebur komponen. Sintering membutuhkan gerakan atom atau molekul melalui komponen, dan telah diketahui bahwa mekanisme *transport* massa, yaitu difusi, aliran viskos, evaporasi-kondensasi berbeda-beda untuk berbagai macam keramik. Peningkatan *fracture toughness* yang berarti pada komposit Alumina-Zirkonia ini dapat diperoleh melalui pemberian tegangan yang menyebabkan perubahan fasa Zirkonia dari *tetragonal* (t) ke *monoklinik* (m). Transformasi ini mengakibatkan pelebaran volume unit sel dan penambahan energi yang diperlukan untuk penjalaran retakan lebih jauh.

**Sifat-sifat Mekanik**

Kekuatan teoritis dapat diperoleh melalui persamaan *Orowan*,

$$\sigma_{th} = (\gamma E / r_0)^{1/2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa tegangan teoritis ( $\sigma_{th}$ ) meningkat jika jarak ikatan antar atom ( $r_0$ ) berkurang dan kalau energi permukaan ( $\gamma$ ) serta *Modulus Young*nya (E) meningkat. Faktor utama yang mempengaruhi struktur keramik dan juga kekuatannya ialah kehalusan permukaan, volum dan bentuk pori, ukuran dan bentuk butir, jenis dan bentuk fasa batas butir dan cacat yang disebabkan oleh tegangan dalam seperti halnya tegangan termal. Pada umumnya kalau kekuatan pada keporusan nol adalah  $\sigma_0$ , kekuatan pada keporusan  $V_p$  dapat dinyatakan,<sup>[3]</sup>

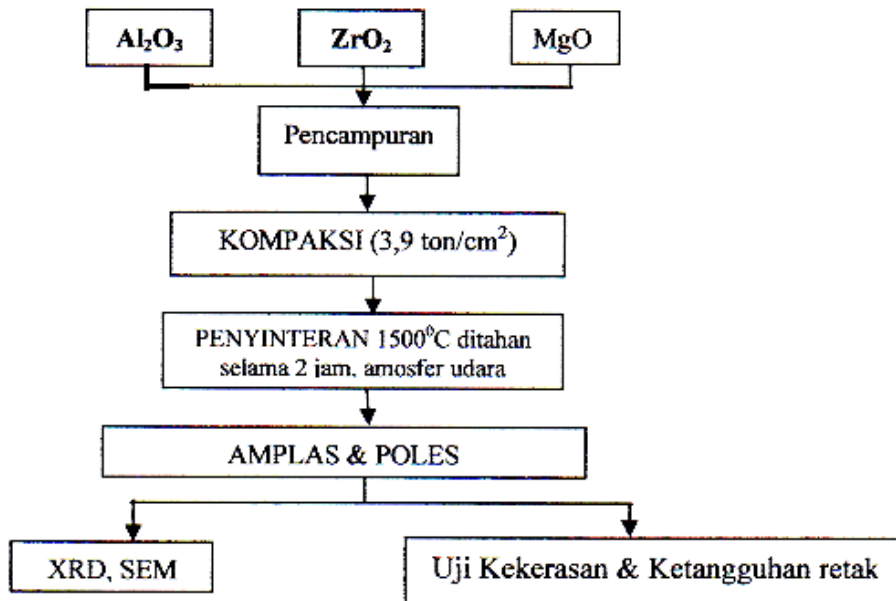
$$\sigma = \sigma_0 \exp(-bVp) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana  $\sigma_0$  adalah kekuatan pada keporian nol dan b adalah konstanta. Harga b berkisar antara 3 dan 11, umumnya kira-kira 5. Hubungan yang paling sering digunakan antara diameter butir (d) dan kekuatan ( $\sigma$ ) adalah<sup>[3]</sup>

$$\sigma = \sigma_\infty + kd^{-1/2} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana  $\sigma_\infty$  dan k adalah konstanta. Persamaan (2.3) menunjukkan bahwa dengan mengecilnya ukuran butir kekuatan meningkat, akibatnya jika butir pembentuk keramik mempunyai diameter kecil, maka ukuran retakan yang terdapat didalamnya juga kecil. Kalau retak terjadi pada butir tertentu ia akan berhenti pada batas butir dan tegangan disebarkan melalui batas butir tersebut. Jadi batas butir keramik memberikan pengaruh yang sangat serius terhadap kekuatannya. Secara empiris diketahui bahwa ada hubungan antara tegangan patah dengan kekerasan *Vickers* (H),  $\sigma_f = H/n$ , dimana n berkisar sekitar 3 untuk logam dan 30-50 untuk keramik.<sup>[3]</sup>

**PROSES PERCOBAAN**



### Bahan Yang Digunakan

Bahan dicampur menjadi 4 komposisi dan setiap komposisi dibuat 10 sampel, sesuai dengan tabel 1 di bawah. Bahan dimasukkan ke dalam beker gelas dan ditambahkan alcohol sampai 95 ml.

Tabel 1 Tabel massa untuk tiap bahan dalam 8 gram

No Komposisi	Komposisi		
	Alumina (gr)	ZrO <sub>2</sub> (gr)	MgO (gr)
01.	7,521583	0,478417	0
02.	7,034587	0,949876	0,015537
03.	7,016127	0,952706	0,031167
04.	6,978877	0,958416	0,062707

Beker gelas diletakan di atas *magnetic stirrer* selama 1 jam pada putaran 5 mot pada temperatur kamar, kemudian dikeringkan dalam tungku pemanas selama 24 jam dengan temperatur 80°C. Campuran bahan yang telah kering dikeluarkan dari tungku pemanas kemudian digerus selama 10 menit agar campuran serbuk lebih homogeny lagi. Semua campuran sesuai dengan komposisi dimasukkan dalam tabung kemudian dilakukan kompaksi dengan tekanan sebesar 3,9 ton/cm<sup>2</sup> dan ditahan selama 15 detik. Kompaksi tersebut dilakukan untuk menghasilkan pelet densitas/ra[at massanya. Berikut hasil pengukuran:

Tabel 2. Komposisi I

No	Massa (gr)	Tebal (mm)	Diameter (mm)
01.	0,7780	4,484	11,16
02.	0,7866	4,543	11,16
03.	0,7680	4,213	11,16
04.	0,6829	3,810	11,16
05.	0,7872	4,592	11,16
06.*	0,7852	4,569	11,16
07.	0,7925	4,561	11,16
08.	0,7705	4,405	11,16
09.	0,7887	4,528	11,16
10.	0,7153	4,088	11,16

Tabel 3, Komposisi II

No	Massa (gr)	Tebal (mm)	Diameter (mm)
01.	0,7780	4,187	11,16
02.	0,7864	4,429	11,16
03.	0,7917	4,351	11,16
04.	0,7867	4,380	11,16
05.	0,7886	4,406	11,16
06.*	0,7942	4,405	11,16
07.	0,7920	4,436	11,16
08.	0,7150	3,996	11,16
09.	0,7900	4,472	11,16
10.	0,7897	4,415	11,16

Tabel 4 Komposisi III

No	Massa (gr)	Tebal (mm)	Diameter (mm)
01.	0,6978	3,821	11,16
02.*	0,7892	4,423	11,16
03.	0,7914	4,379	11,16
04.	0,6901	3,806	11,16
05.	0,7903	4,442	11,16
06.	0,7894	4,462	11,16
07.	0,7923	4,471	11,16
08.	0,7892	4,417	11,16
09.	0,7846	4,452	11,16
10.	0,7697	4,215	11,16

Tabel 5 Komposisi IV

No	Massa (gr)	Tebal (mm)	Diameter (mm)
01.	0,7458	3,210	11,16
02.	0,7628	4,115	11,16
03.	0,7733	4,207	11,16
04.	0,7754	4,225	11,16
05.*	0,7920	4,210	11,16
06.	0,7768	4,252	11,16
07.	0,7905	4,361	11,16
08.	0,7862	4,332	11,16
09.	0,7828	4,301	11,16
10.	0,7991	5,205	11,16

\*: Sampel yang disinter

Proses sinter dilakukan dengan menggunakan tungku jenis muffle *Carbolite Furnace* pada temperature 1500° C, waktu penahanan 120 menit, laju kenaikan temperature tungku = 7° C/menit dan pendinginan pada temperatur kamar. Setelah sinter selesai, kemudian diukur kembali densitas bahan karena biasanya setelah disinter pelet tersebut memiliki densitas yang lebih besar.

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dari sampel pelet dan keberadaan fase kedua. Pengukuran dilakukan dengan Difraktometer Sinar-X, tipe XD – 610 (*Shimadzu*). Pola difraksi diperoleh dengan sumbu target Cv, sudut difraksi  $2\theta$  untuk aplikasi  $Al_2O_3$  dari  $20^\circ$  sampai dengan  $70^\circ$  dan aplikasi komposit dari  $15^\circ$  sampai dengan  $100^\circ$  dengan lebar langkah  $0,05^\circ$  dan setiap titik dicacah selama 2 detik.

Pengujian Kekerasan dilakukan dengan tujuan mendapatkan sifat mekanik keramik dengan beban sebesar 1 kg. Pengujian ketangguhan retak dilakukan dengan tujuan mendapatkan harga ketangguhan retak menggunakan alat uji kekerasan *Vickers*. Besar beban pengujian adalah 10 kg atau dilakukan sampai menghasilkan retakan pada bekas indentor selama 15 detik.

Tabel 6. Harga Kekerasan rata-rata dan Harga  $K_{IC}$  rata-rata dan selisihnya

Komposisi	Hasil Pengujian Kekerasan			Hasil Pengujian Ketangguhan Retak	
	Titik Uji	D rata-rata (mm)	Hv Rata-rata	$K_{IC}$ rata-rata	$\Delta K_{IC}$ (Mpa.m <sup>1/2</sup> )
I	3	0.0355	1524.162	4.95	0.035
VI	3	0.034	1655.217	6.19	0.058
VII	3	0.0305	1647.054	6.22	0.11
VIII	3	0.034	1515.43	6.31	0.08

Pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*) bertujuan untuk melihat bentuk butir dan struktur mikronya. Untuk penelitian ini pellet yang di analisis oleh SEM adalah komposisi I dan komposisi IV.

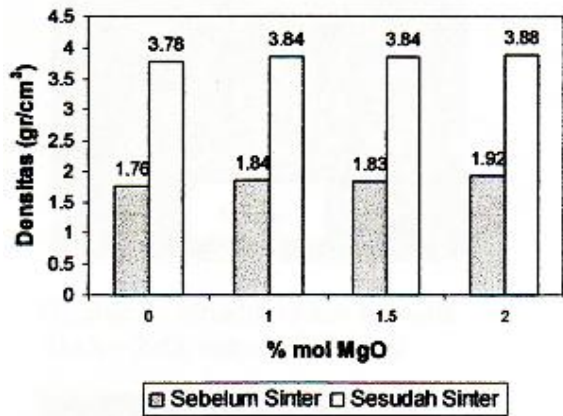
#### Analisis Hasil Densitas Bahan

Untuk perhitungan densitas bahas digunakan persamaan 3.1 sehingga di dapat harga densitas pellet sebelum dan sesudah dilakukan sinter yang ditunjukkan dalam tabel 7 dibawah ini :

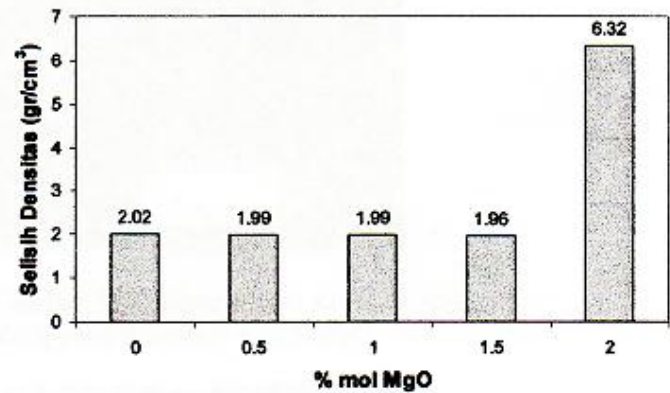
Tabel 7 Hasil pengukuran densitas pelet sebelum dan sesudah sinter

NO	Komposisi	Sebelum sinter					Sesudah sinter				
		M (gr)	TBL (cm)	D (cm)	VOL (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ gr/cm <sup>3</sup>	M (gr)	TBL (cm)	D (cm)	VOL (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ gr/cm <sup>3</sup>
1.	I	0.7852	0.4569	1.116	0.4467	1.7577	0.7256	0.3395	0.8473	0.1919	3.7811
2.	VI	0.7942	0.405	1.116	0.4306	1.844	0.7289	0.3380	0.8427	0.1900	3.8362
3.	VII	0.7992	0.4413	1.116	0.4316	1.8514	0.7267	0.3365	0.8465	0.1892	3.8409
4.	VIII	0.7920	0.4210	1.116	0.4116	1.9242	0.7245	0.3313	0.8472	0.1867	3.8806

Dari data yang ada pada table 7 terjadi peningkatan densitas yang disebabkan oleh *sintering* dimana pelet mengalami pemadatan sehingga terjadi pengurangan luas. Untuk memperlihatkan adanya perbedaan nilai densitas sebelum dan sesudah sinter terhadap penambahan konsentrasi MgO maka dibuat dalam bentuk gambar 1. Sehingga didapatkan selisih harga densitas ( $\Delta \rho$ ) dari 4 sampel pelet yang diukur untuk setaip % mol MgO yang ditambahkan.



Gambar. 1 Grafik hubungan densitas dan % mol MgO

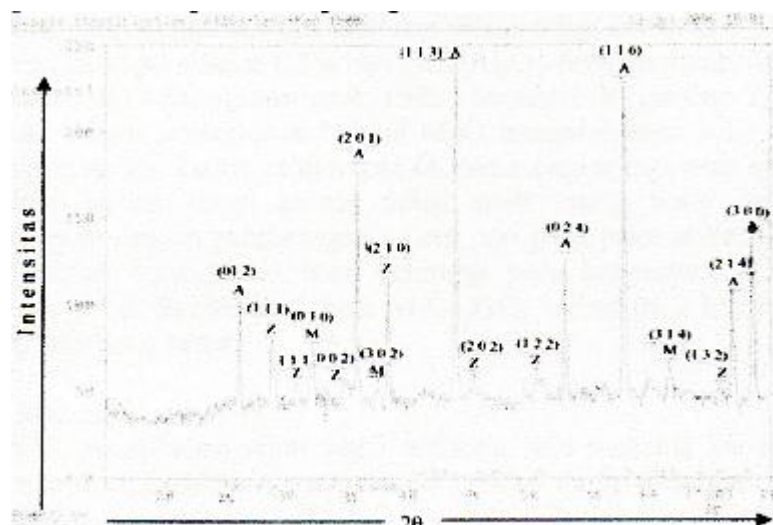


Gambar 2 Grafik Selisih Densitas Terhadap % mol MgO

Pada Gambar 1, menunjukkan adanya peningkatan densitas pellet mengikuti penambahan konsentrasi aditif. Sedangkan pada gambar 2 selisih nilai densitas menunjukkan penurunan dengan bertambahnya % mol MgO. Hal ini berarti, bahwa penambahan aditif MgO dapat mempengaruhi proses pematangan (sintering). Penambahan sedikit MgO akan menghambat pertumbuhan butir tetapi jika semakin banyak jumlah MgO didalam keramik komposit maka mengakibatkan perubahan struktur rangkaian.

### Analisis Difraksi Sinar –X (X-Ray Diffraction)

Hasil analisis XRD pada pelet sinter dapat dilihat pada gambar dibawah ini:

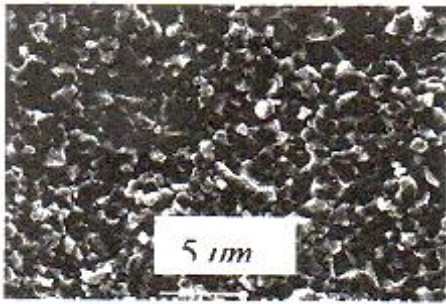


Gambar 3 Pola Difraksi Keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  yang Memperlihatkan Puncak Senyawa Baru  $\text{Mg-Al}_2\text{O}_4$ , Puncak  $\text{ZrO}_2$  &  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . (Ket : A Alumina ; Zirkonia M :  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ).

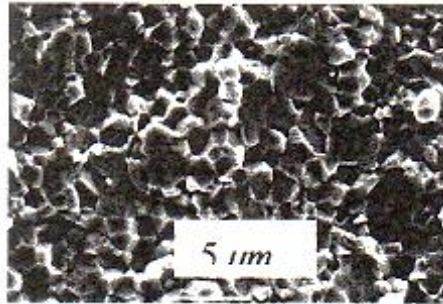
Untuk komposisi 1% mol MgO menunjukkan adanya pembentukan senyawa/fasa baru pada keramik komposit  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  yaitu  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Data pola difraksi keramik komposit  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  tersebut dapat dilihat pada gambar 3. Setelah dibandingkan antara  $d$  (Å) hasil pengukuran dan  $d$  (Å) dari table Hanawalt, dapat dikatakan bahwa aditif MgO membentuk senyawa/fasa baru, yaitu  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ . Terbentuknya fasa kedua  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  dalam jumlah yang kecil sangat mempengaruhi peningkatan kekerasan dan jika fasa kedua ini semakin banyak akan menurunkan kekerasan dan menaikkan ketangguhan retak.

### Analisis Hasil Metalografi dan Struktur Mikro

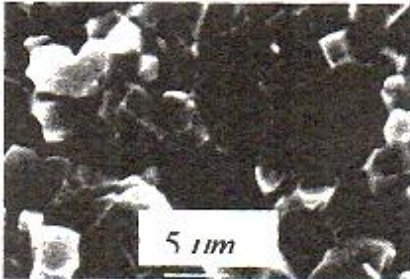
Hasil proses metalografi pada keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  menunjukkan adanya perbedaan ukuran butir pelet dengan adanya penambahan konsentrasi aditif MgO. Struktur mikro  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  memperlihatkan ukuran butir bahan yang tidak ditambahkan aditif MgO dan yang ditambahkan aditif MgO, dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



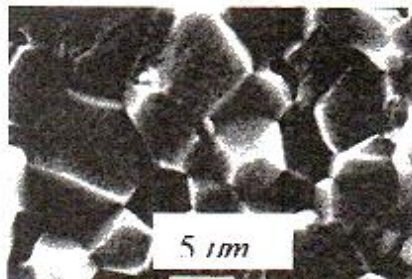
Gambar 4: Struktur Mikro Keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  tanpa aditif MgO



Gambar 5 : Struktur Mikro Keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  yang ditambah Aditif MgO



Gambar 6 : Struktur Mikro Keramik Alumina zirkonia tanpa aditif MgO

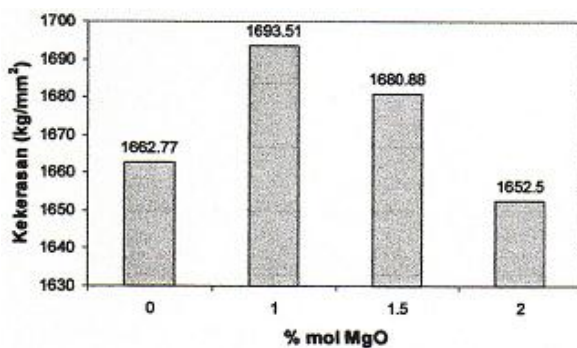


Gambar 7: Struktur Mikro Keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  yang ditambah Aditif MgO

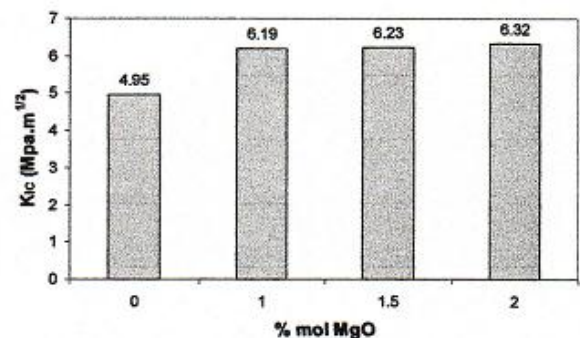
Perubahan bentuk dan ukuran butir yang terjadi pada keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3$  disebabkan oleh pengaruh penambahan  $\text{ZrO}_2$  sebesar 5 % mol yang menjadikan ukuran butir kecil dan teratur tetapi ketika  $\text{ZrO}_2$  ditambah menjadi 10 % mol dan juga penambahan zat aditif MgO sebesar 0,5% mol pada  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  pertumbuhan butir semakin terhambat sehingga menaikkan kekerasan dan ketangguhan retak. Pada komposisi IV (gambar.7) diperlihatkan bentuk butir membesar ini menunjukkan bahwa % mol MgO mengakibatkan butir teraktivasi kembali karena sebagian aditif MgO membentuk fase kedua yaitu  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  dan sebagian lagi tetap membentuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  sehingga pertumbuhan butir makin tinggi karena difusi atom makin besar dan teratur. Dengan makin membesarnya butir diiringi pula pengurangan volum pori pada pelet sinter. Makin banyak penambahan aditif MgO, maka penambahan butir makin besar, sehingga pada konsentrasi 0,5% mol MgO merupakan konsentrasi yang paling baik untuk ditambahkan pada  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  karena pada konsentrasi tersebut MgO dapat menghambat pertumbuhan butir yang besar.

### Analisis Terhadap Sifat Mekanik

Untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif MgO terhadap sifat mekanik keramik  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$  dilakukan pengujian kekerasan. Dengan menggunakan persamaan 2.6 maka hasil uji kekerasan dapat dilihat pada grafik 8 dibawah ini :



Gambar 8 Harga Kekerasan Rata-Rata Sebagai konsentrasi MgO



Gambar 9. Harga K<sub>IC</sub> rata-rata sebagai fungsi fungsi konsentrasi MgO

Hasil uji kekerasan menunjukkan adanya peningkatan kekerasan keramik dengan ditambahkan jumlah  $\text{ZrO}_2$  dan aditif MgO. Penambahan ini menghambat perambatan retak, sehingga kekerasan karena adanya penambahan 10 % mol  $\text{ZrO}_2$  dan penambahan konsentrasi aditif 0,5 % mol adalah 1693,516 kg/mm<sup>2</sup> dan ketangguhan retakan 6,19 Mpa.m<sup>1/2</sup> pada komposisi 6.

Hasil pengujian ketangguhan retak pada pelet sinter menunjukkan adanya peningkatan ketangguhan retak dan penambahan 10 % mol  $\text{ZrO}_2$  dan 0,5 % mo MgO. Pada gambar 3 dapat dilihat kenaikan ketangguhan

retak keramik mengikuti penambahan zat aditif MgO. Karena penambahan aditif MgO yang semakin banyak menjadikan pertumbuhan butir menjadi besar dan terbentuk fasa kedua  $MgAl_2O_4$ . Walaupun MgO makin banyak tetapi terjadinya pertumbuhan retakan yang besar tetap tidak terjadi karena  $ZrO_2$  tetap dan tidak membentuk fasa baru. Dengan demikian ketangguhan retak ( $K_{IC}$ ) meningkat hingga mencapai harga  $K_{IC}$  sebesar  $6.317 \text{ Mpa.m}^{1/2}$  (maks). Data yang ada pada gambar 9 menunjukkan bahwa harga ketangguhan retak mengalami peningkatan dengan bertambahnya aditif MgO. Kenaikan harga  $K_{IC}$  berbeda dengan penambahan kekerasan karena kenaikan konsentrasi MgO pada konsentrasi tertentu dimana, semakin menurun harga kekerasan,  $K_{IC}$  semakin besar kecuali untuk komposisi 1 yang tidak ditambah zat aditif MgO.

Dari data fisik dan mekanik bahan keramik pada penelitian ini, menunjukkan terdapatnya kemungkinan penggunaan keramik  $Al_2O_3-ZrO_2$  yang ditambah aditif MgO sebagai bahan *cutting tool* dan sebagian *die*. Sebagai perbandingan, harga ketangguhan retak ( $K_{IC}$ ) untuk bahan keramik komposit yang telah dilakukan penelitian adalah antara  $5 \text{ Mpa.m}^{1/2}$  sampai  $9 \text{ Mpa.m}^{1/2}$  dan kekerasan *vickers* antara  $1500 \text{ kg/mm}^2 - 1900 \text{ kg/mm}^2$ .

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, perhitungan dan analisis dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Pada temperatur sinter  $1500^\circ\text{C}$ , penambahan aditif MgO hingga 2 % mol dapat meningkatkan derajat penyinteran keramik komposit alumina- zirkonia ( $Al_2O_3 - ZrO_2$ )
2. Zirkonia ( $ZrO_2$ ) dapat memperkecil dan mengubah bentuk butir alumina ( $Al_2O_3$ )
3. Penambahan aditif MgO pada keramik  $Al_2O_3 - ZrO_2$ , membentuk fase kedua  $MgAl_2O_4$ .
4. Harga kekerasan (Hv) tertinggi terdapat pada komposisi 6 dengan penambahan aditif sebesar 0,5 % mol sebesar  $1693,516 \text{ kg/mm}^2$  dan memiliki harga ketangguhan retak ( $K_{IC}$ ) sebesar  $6.19 \text{ Mpa.m}^{1/2}$ .
5. Harga ketangguhan retak ( $K_{IC}$ ) keramik komposit  $Al_2O_3 - ZrO_2$  meningkat setelah ditambah MgO sampai 2 % mol menjadi  $6.317 \text{ Mpa.m}^{1/2}$  dari harga awal  $4,951 \text{ Mpa.m}^{1/2}$  pada sampel tanpa MgO.
6. Data-data hasil penelitian ini menunjukkan adanya kemungkinan keramik  $Al_2O_3 - ZrO_2$  dengan penambahan aditif MgO hingga 2 % mol dapat digunakan sebagai bahan *cutting tool* dan *die*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Erfin Yuandra, Febrianto, Hans K. Sudjono, dan Udin H.1988. *Analisis Pengukuran Ketangguhan Retak Komposit Keramik Sistem  $Al_2O_3 - ZrO_2$* , Puslitbang Fisika Terapan; LIPI-Bandung.
2. Mulyadi, Perdamean Sebayang.1988.*Pengaruh Penambahan  $TiO_2$  Terhadap Proses Sintering Keramik  $Al_2O_3$  dan Sifat Mekaniknya*. Puslitbang Fisika Terapan – LIPI, Puspitek Serpong.
3. Tata Surdia,1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta-Indonesia : P.T. Pradnya Paramita.
4. Van Vlack H. Lawrence.1994. *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. Jakarta; Erlangga.