

**SINTESIS NANO KRISTALIN KOMPOSIT ALUMINA-ZIRKONIA DENGAN  
TEMPLATE PULP ORYZA SATIVA MELALUI METODE KALSINASI PREKURSOR  
SYNTHESIS OF NANO- ALUMINA COMPOSITE CRYSTALLINE ZIRKONIA  
ORYZA SATIVA PULP BY TEMPLATE METHOD PRECURSOR CALCINATION**

**Frank Edwin<sup>\*)</sup>, Bambang Sunendar Purwasasmita<sup>\*\*)</sup>, Suhanda<sup>\*)</sup>, Rifki Septawendar<sup>\*)</sup>,  
and Leanddas Nurdiwijayanto<sup>\*\*)</sup>**

<sup>\*)</sup> Balai Besar Keramik, Kementerian Perindustrian Indonesia

<sup>\*\*)</sup> Institut Teknologi Bandung  
rifkiseptawendar@yahoo.com

**ABSTRAK**

Nano kristalin komposit alumina-zirkonia disintesis melalui metode kalsinasi prekursor dengan pulp *oryza sativa* sebagai *template* serta  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{ZrCl}_4$  sebagai prekursor dengan komposisi molar 80:20. Pencampuran prekursor, pelarut, dan pulp menggunakan ultra turrax T25 pada RPM 15000 selama 3 menit sebanyak 3 kali. Kalsinasi yang ditujukan untuk memperbaiki morfologi dan pembentukan fasa dilakukan pada temperatur 900, 1000, 1100, 1200, dan 1250°C. Untuk mengetahui sifat-sifat dari material komposit yang terbentuk, dilakukan karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Dari hasil XRD, dapat diidentifikasi fasa dari komposit yang muncul, yaitu tetragonal-zirkonia, monoklinik-zirkonia, dan  $\delta$ -alumina. Fasa tunggal tetragonal-zirkonia muncul pada sampel yang dikalsinasi pada temperatur 900-1100°C, sementara sampel yang dikalsinasi pada temperatur yang lebih tinggi menghasilkan fasa campuran antara tetragonal-zirkonia dan monoklinik-zirkonia. Dari hasil SEM, terlihat bahwa morfologi partikel memiliki bentuk menyerupai bentuk dari pulp, yang mana bentuk ini merupakan akibat dari pencampuran dengan kecepatan tinggi.

**Kata kunci:** Komposit, Alumina-Zirkonia, Tetragonal-Zirkonia, Monoklinik-Zirkonia, Pulp.

**ABSTRACT**

*Nanocrystalline composite alumina-zirconia has been successfully synthesized by precursor calcining process with oryza sativa pulp as template. The synthesis of alumina-zirconia composite was done using  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{ZrCl}_4$  as precursors with molar ratio of 80:20. The mixing of precursors, solvent, and pulp was carried out by means of ultra turrax T25 homogenizer at 15000 rpm for 3 times with each for 3 minutes. The calcination process for the formation of the phase of alumina-zirconia composite was performed at 900, 1000, 1100, 1200, and 1250°C. To indentify the properties of alumina-zirconia composite, the X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscope (SEM) need to be employed. Based on XRD analysis result, it can be seen that the phase of alumina-zirconia composite are tetragonal-zirconia, monoclinic-zirconia, and  $\delta$ -alumina. The single phase of tetragonal-zirconia appears for samples annealed at 900-1100°C; while for sampels annealed at 1200°C and 1250°C, it appears to have multiphase of tetragonal-zirconia and monoclinic-zirconia. The transformation of singlephase of tetragonal-zirconia to multiphase of tetragonal-zirconia and monoclinic-zirconia is believed to be due to the increase of crystallite size as the calcination temperature increased, thus causes the subsequent growth of the crystals. According to SEM micrograph, it can be seen that the morphology of particles has a shape resemble to the morphology of pulp, which is the effect of mixing at high RPM.*

**Keywords:** Composite, Alumina-Zirconia, Tetragonal-Zirconia, Monoclinic-Zirconia, Pulp.

**PENDAHULUAN**

Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) merupakan salah satu material oksida yang memiliki sifat serta karakteristik mekanik dan stabilitas termal yang baik<sup>[1,2,3]</sup>. Sementara zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ) merupakan material oksida yang penting dalam berbagai aplikasi, seperti penggunaannya dalam keramik refraktori dan material tahan abrasi. Selain itu,

zirkonia yang memiliki luas area besar dapat digunakan sebagai katalis<sup>[4]</sup>, sensor gas<sup>[5]</sup> dan *solid oxide fuel cell*<sup>[6]</sup>. Komposit alumina zirkonia dengan alumina sebagai matrik sering dikenal dengan istilah *zirconia toughened alumina* (ZTA).

Penambahan zirkonia kedalam matrik alumina sangat berperan dalam meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanik alumina.

Sementara gabungan dari kedua material tersebut memiliki keuntungan dalam penggunaan alumina yang murah serta zirkonia yang memiliki kekuatan (*strength*) yang tinggi. Seperti telah diketahui, peningkatan kekuatan dan ketangguhan (*toughness*) dari ZTA sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah ukuran partikel, sifat dasar dari partikel  $ZrO_2$ , dan distribusinya didalam matriks, di mana dalam hal ini sangat tergantung sekali kepada proses sintesis komposit ZTA<sup>[3]</sup>.

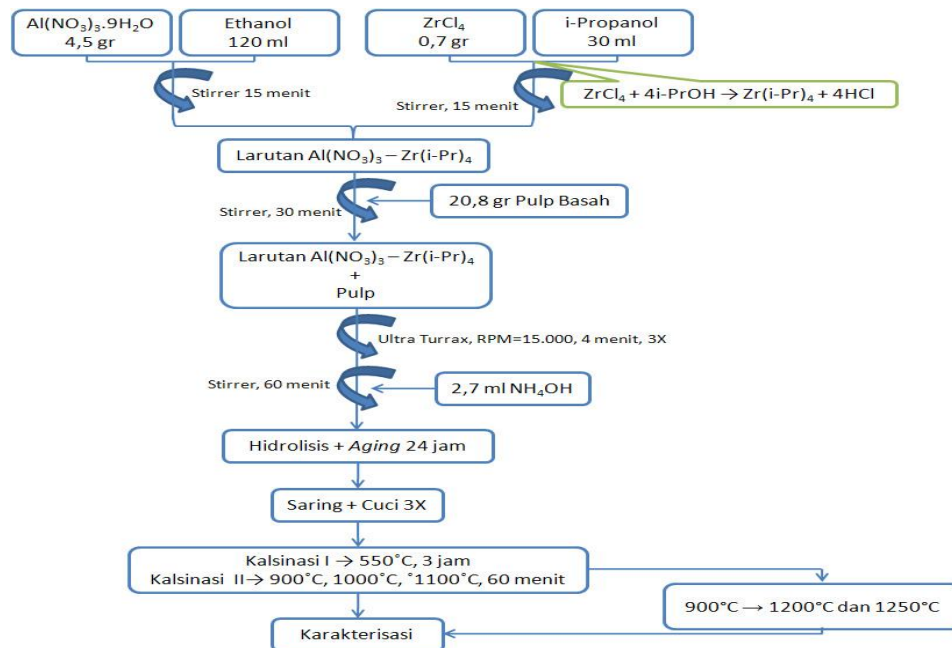
Kekuatan dan ketangguhan dari alumina dapat diperbaiki dan ditingkatkan dengan menambahkan sebanyak 10-20 vol% fasa metastabil tetragonal (*t*) zirkonia, dimana fasa tersebut dapat dengan mudah bertransformasi ke dalam fasa yang lebih stabil, yaitu monoklinik (*m*) zirkonia<sup>[7]</sup>. Biasanya hal itu terjadi apabila terdapat suatu patahan (*crack*) dalam struktur matriks alumina, dan zirkonia yang berada pada daerah patahan tersebut akan bertransformasi dari fasa tetragonal ke fasa monoklinik yang mengakibatkan ekspansi volume sebesar 3%<sup>[7]</sup>. Penambahan volume tersebut akan mengakibatkan tegangan tekan (*compressive stresses*) di dalam struktur matriks alumina yang dapat mendorong timbulnya patahan yang lebih besar yang pada akhirnya akan mempengaruhi ketangguhan dari material<sup>[7]</sup>. Oleh karena itu mempertahankan fasa dari tetragonal zirkonia di dalam matriks alumina sangat penting untuk menjaga kekerasan dan ketangguhan komposit ZTA.

Berbagai metode sintesis seperti *conventional dry/wet milling* dari campuran zirkonia dan alumina<sup>[8,9]</sup>, liquid precursor method<sup>[10]</sup>, dan sol-gel<sup>[11]</sup> telah banyak dilakukan. Hal yang penting untuk diketahui adalah sintesis komposit alumina-zirkonia dengan menggunakan metode *conventional dry (solid state solution)/ wet milling*, memiliki beberapa kekurangan dalam hal homogenitas campuran dalam skala atomik, sinterabilitas, dan besarnya kemungkinan tercampur oleh pengotor. Kekurangan-kekurangan tersebut dapat diatasi apabila proses sintesis yang digunakan adalah proses sintesis dengan larutan kimia, seperti sol-gel.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat komposit alumina-zirkonia dengan ukuran partikel berskala nano meter yang disintesis melalui larutan kimia dengan menambahkan suatu aditif yang berfungsi sebagai *template*, dalam hal ini berfungsi untuk menjaga kerapatan dari molekul-molekul garam prekursor untuk tidak saling beraglomerasi. *Template* yang digunakan dalam penelitian ini adalah pulp *oryza sativa* (limbah merang padi) yang mudah diperoleh, dan harganya sangat murah.

## METODOLOGI PENELITIAN

Alur penelitian "Sintesis dan Karakterisasi Komposit Alumina-Zirkonia dengan Pulp *Oryza Sativa* Sebagai *Template* Melalui Metode *Precursor Calcining Process*" dapat dilihat dalam Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian Sintesis Dan Karakterisasi Komposit Alumina-Zirkonia Dengan Pulp *Oryza Sativa* Sebagai *Template* Melalui Metode *Precursor Calcining Process*

**Bahan dan Alat**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan bahan-bahan yang memiliki kualitas *analytical grade* dan digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut. Sementara, peralatan dan instrumentasi yang dipergunakan adalah ultra turrax T25, tungku listrik Nabertherm, XRD, *Philips Analytical X-Ray* dan SEM, JEOL JSM-35C

**Prosedur Penelitian**

Sejumlah  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{ZrCl}_4$  dengan komposisi molar 80:20, masing masing dilarutkan dalam ethanol dan isopropanol dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit sehingga diperoleh larutan  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  dan  $\text{Zr}(\text{i-Pr})_4$ . Konsentrasi total larutan diatur pada nilai 0,1M. Kedua larutan tersebut dicampur dan diaduk selama 30 menit sambil dimasukkan pulp merang dengan perbandingan berat prekursor dan pulp adalah 1:4. Selanjutnya, campuran larutan di atas diaduk pada kecepatan tinggi dengan menggunakan alat ultra turrax T25 pada RPM 15.000 selama 3 menit sebanyak

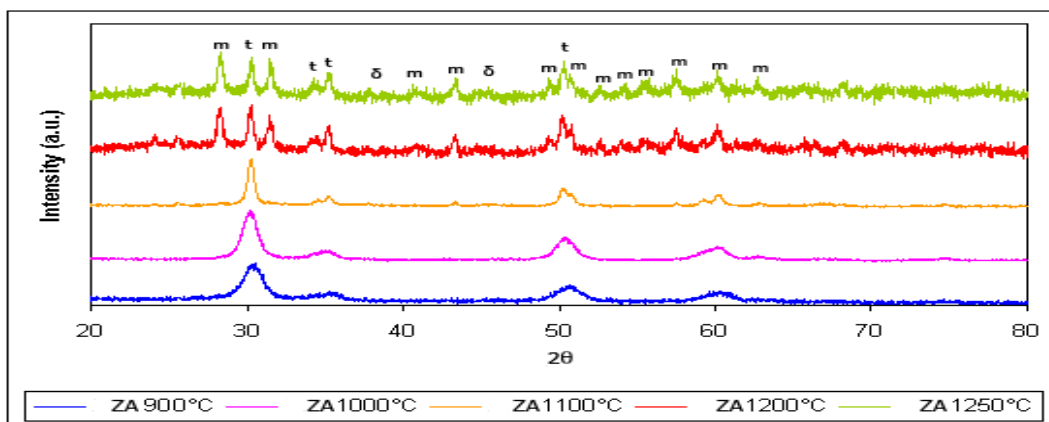
3 kali. Agar terjadi hidrolisis, larutan amoniak 25% ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk hingga didapatkan pH sama dengan 6 lalu di aduk selama 60 menit dan di-aging selama 24 jam.

Selanjutnya dilakukan penyaringan hingga diperoleh gel bersama-sama dengan pulp dan dicuci dengan menggunakan aqua dm sebanyak tiga kali. Gel yang telah dicuci dilakukan perlakuan panas pada temperatur  $550^\circ\text{C}$  selama 3 jam yang bertujuan untuk menghilangkan karbon dari pulp (*decarbonize*) dan dilanjutkan dengan kalsinasi pada temperatur  $900^\circ\text{C}$ ,  $1000^\circ\text{C}$ ,  $1100^\circ\text{C}$  selama 60 menit, dan  $1200^\circ\text{C}$  dan  $1250^\circ\text{C}$  selama 60 menit untuk sampel yang sebelumnya telah dikalsinasi pada  $900^\circ\text{C}$ . Sampel-sampel yang terbentuk diberi nama: AZ $900^\circ\text{C}$ , AZ $1000^\circ\text{C}$ , AZ $1100^\circ\text{C}$ , AZ $1200^\circ\text{C}$  dan AZ $1250^\circ\text{C}$ . Karakterisasi pada kelima sampel tersebut dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD, *Philips Analytical X-Ray*, Cu  $\text{K}\alpha$ ,  $\lambda=1,54\text{\AA}$ ) untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan menghitung ukuran kristal yang terbentuk, serta *Scanning Electron Microscope* (SEM, JEOL JSM-35C) untuk mengetahui morfologi partikelnya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada gambar 2 terlihat pola XRD dari komposit alumina-zirkonia yang dikalsinasi pada temperatur 900°C, 1000°C, 1100°C, 1200°C dan 1250°C. Berdasarkan kelima pola XRD tersebut, dapat diketahui bahwa terdeteksi tiga fasa yang terbentuk, yaitu fasa tetragonal-zirkonia, monoklinik-zirkonia, dan  $\delta$ -alumina.

Pada temperatur kalsinasi 900°C, 1000°C dan 1100°C fasa yang muncul adalah fasa tunggal dari tetragonal-zirkonia sementara pada temperatur kalsinasi 1200°C dan 1250°C fasa yang muncul adalah fasa dari tetragonal-zirkonia, monoklinik-zirkonia, dan  $\delta$ -alumina, yang mana pada temperatur ini sampel yang di kalsinasi pada dua temperatur tersebut adalah sampel yang sebelumnya telah dikalsinasi pada temperatur 900°C.



**Gambar 2.** Pola XRD komposit Alumina-Zirkonia, **m**=monoklinik, **t**=tetragonal, **δ**= $\delta$ -alumina

Fasa  $\alpha$ -alumina merupakan fasa stabil secara termodinamik dari alumina, bilamana dalam sintesis terutama dalam kalsinasi,  $\alpha$ -alumina diperoleh melalui transformasi yang diawali dari boehmite, yaitu: boehmite  $\rightarrow \gamma \rightarrow \delta \rightarrow \theta \rightarrow \alpha$ <sup>[7]</sup>. Transformasi fasa ini disebabkan oleh nukleasi dan mekanisme pertumbuhan kristal<sup>[7,12]</sup>. Fasa dari  $\alpha$ -alumina merupakan fasa yang paling stabil dikarenakan energi bebas dari  $\alpha$ -alumina lebih kecil dari pada transisi fasa-fasa sebelumnya<sup>[7]</sup>. Berdasarkan hasil XRD pada gambar 2, dapat dilihat bahwa fasa yang terbentuk saat kalsinasi pada 1200°C dan 1250°C hanya sampai pada  $\delta$ -alumina, dan belum dapat dicapai fasa dari  $\alpha$ -alumina. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh belum cukupnya energi saat kalsinasi pada temperatur tersebut untuk terjadinya proses transformasi alumina ke fasa yang paling stabil ( $\alpha$ -alumina). Selain itu ukuran partikel juga memiliki peranan dalam transformasi fasa ini, di

mana ukuran partikel yang lebih kecil akan membutuhkan energi yang lebih kecil dalam transformasi fasanya.

Selain itu pada hasil XRD pada Gambar 2, terlihat bahwa pada temperatur kalsinasi 900°C, 1000°C, dan 1100°C zirkonia yang terbentuk memiliki fasa tunggal, yaitu tetragonal-zirkonia, namun pada temperatur kalsinasi yang lebih tinggi, yaitu 1200°C dan 1250°C, zirkonia yang terbentuk memiliki fasa monoklinik dan tetragonal. Pada keadaan temperatur ruang, zirkonia umumnya berfasa stabil monoklinik, walaupun sebelumnya telah dilakukan perlakuan panas pada temperatur yang tinggi<sup>[7,13]</sup>.

Transformasi fasa dari bulk zirkonia dimulai dari: monoklinik-zirkonia  $\rightarrow$  tetragonal-zirkonia pada temperatur 1170°C  $\rightarrow$  kubik-zirkonia pada temperatur 2370°C<sup>[14-17]</sup>. Berdasarkan grafik XRD tersebut, pada temperatur kalsinasi

1200°C dan 1250°C terlihat bahwa zirkonia yang terbentuk memiliki dua fasa, yaitu monoklinik dan tetragonal sementara pada temperatur kalsinasi yang lebih rendah zirkonia membentuk fasa tetragonal.

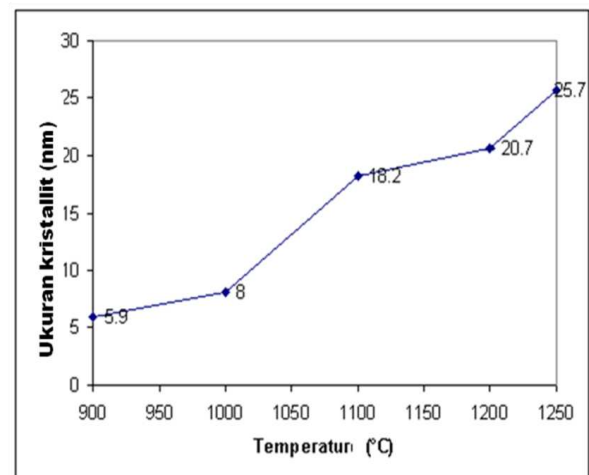
Stabilitas fasa tetragonal dari zirkonia ditengarai dipengaruhi oleh ukuran kristal zirkonia yang kecil di dalam matriks Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, di mana ukuran kristal yang kecil mengurangi energi bebas dari pembentukan tetragonal zirkonia jika dibandingkan dengan pembentukan monoklinik zirkonia<sup>[3]</sup>. Sehingga di sini, dengan meningkatnya temperatur kalsinasi yang diikuti oleh pertumbuhan kristal akan menyebabkan transformasi dari fasa tetragonal zirkonia ke monoklinik zirkonia saat perlakuan panas telah selesai dan temperatur turun ke temperatur ruang<sup>[3]</sup>.

Berdasarkan Gambar 1 pula, dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur kalsinasi semakin tajam puncak yang terbentuk. Hal ini menandakan bahwa kristalinitas yang terbentuk semakin baik seiring dengan meningkatnya temperatur kalsinasi. Merujuk puncak-puncak utama pola XRD pada Gambar 1, dapat dicari ukuran suatu Kristal dengan fasa tertentu melalui pendekatan persamaan Scherrer.

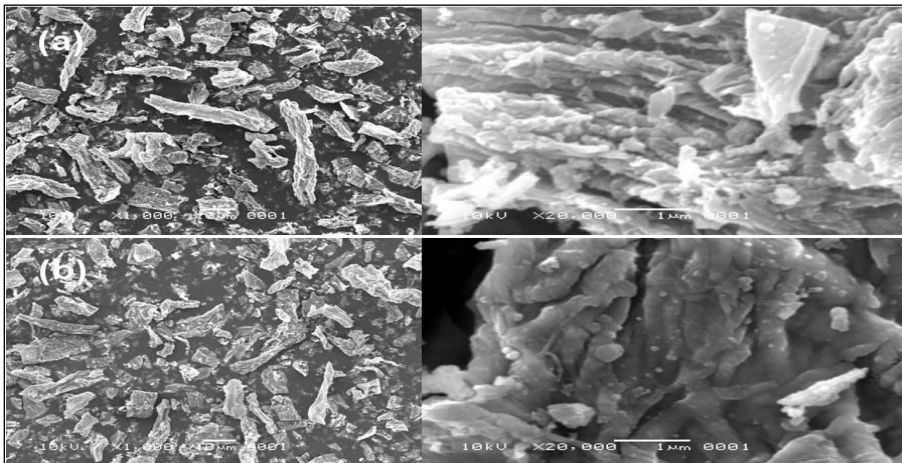
$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

*D* adalah ukuran dari kristal, *K* adalah faktor bentuk dari kristal dengan nilai sama dengan 0,9-1,  $\lambda$  adalah panjang gelombang dari sinar-X, yaitu 1,54056 Å, dan  $\beta$  adalah nilai dari *Full*

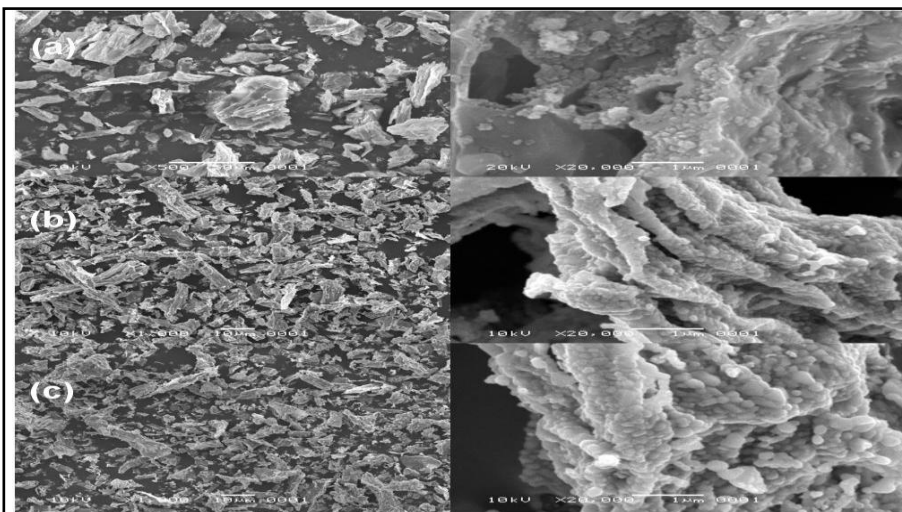
*Width at Half Maxima (FWHM)*. Berdasarkan persamaan tersebut, ukuran kristal dari fasa tetragonal zirkonia ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2. Ukuran kristal terendah adalah 5,9 nm untuk sampel yang dikalsinasi pada 900°C sedangkan ukuran kristal terbesar adalah 25,7 nm untuk sampel yang dikalsinasi pada 1250°C. Sehingga disini terlihat adanya profil dari kenaikan ukuran kristal seiring dengan naiknya temperatur kalsinasi, yang mana kalsinasi pada temperatur 1200°C dan 1250°C yang memiliki ukuran kristal masing-masing 20,7 dan 25,7 nm memperlihatkan munculnya dua fasa, yaitu monoklinik-zirkonia dan tetragonal-zirkonia.



**Gambar 3.** Ukuran kristal untuk fasa tetragonal zirkoni



**Gambar 4.** SEM komposit alumina-zirkonia dengan perbedaan temperatur kalsinasi (a) ZA900°C dan (b) ZA1000°C



**Gambar 5.** SEM komposit alumina-zirkonia dengan perbedaan temperatur kalsinasi (a) ZA1100°C, (b) ZA1200°C, dan (c) ZA1250

Perlakuan panas pada temperatur yang lebih tinggi malah menyebabkan fasa dari tetragonal zirkonia tidak stabil sehingga muncul fasa monokliniknya. Hal ini ditengarai akibat dari semakin besarnya ukuran kristal karena adanya mekanisme pertumbuhan kristal ketika temperatur saat perlakuan panas lebih tinggi, sehingga mengakibatkan meningkatnya energi bebas untuk pembentukan tetragonal zirkonia daripada monoklinik zirkonia.

Gambar 5 memperlihatkan hasil karakterisasi SEM dari sampel komposit alumina-zirkonia dengan perbedaan temperatur kalsinasi. Berdasarkan mikrofot SEM yang dihasilkan,

dapat diketahui bahwa mikrostruktur yang terbentuk memperlihatkan suatu struktur bongkahan yang memanjang terdiri atas kumpulan-kumpulan partikel nano komposit alumina-zirkonia, yang mana pola memanjang ini mengikuti pola dari pulp. Bentuk mikrostruktur yang memanjang ini kemungkinan diakibatkan oleh proses penghalusan pulp dengan menggunakan ultra turrax pada kecepatan 15000 rpm di dalam larutan prekursor. Dengan tingginya kecepatan dari ultra turrax memungkinkan untuk prekursor merembes dan menyelimuti permukaan pulp dengan lebih baik, sehingga pada saat dilakukan hidrolisis, koloid yang terbentuk

akan langsung menempel pada pulp. Oleh karena itu, pada perbesaran yang lebih tinggi dapat dilihat bahwa adanya butiran-butiran yang kecil yang menyelimuti suatu bongkahan. Partikel-partikel kecil tersebut diperkirakan adalah partikel dari zirkonia yang tergabung dalam matriks partikel alumina.

### Prospek Ekonomis

Pulp *oryza sativa* dari limbah merang padi sebagai template dalam pembuatan nano komposit alumina-zirkonia, sangat mudah diperoleh di Indonesia dan harganya jauh lebih murah dibanding template sintesis seperti polivinil alkohol (PVA) atau etilen glikol, yang harganya cukup mahal sehingga prospek nilai ekonomi pembuatan nano komposit alumina-zirkonia dengan template Pulp *oryza sativa* dari limbah merang padi sebagai bahan alternatif, sangat baik.

### KESIMPULAN

Sintesis komposit alumina-zirkonia telah berhasil diteliti dengan menggunakan metode *precursor calcining process* dengan pulp *oryza sativa* sebagai *template* dengan perlakuan panas pada temperatur 900°C hingga 1250°C. Melalui metode ini, dapat disimpulkan:

1. Mineral yang dihasilkan dalam komposit alumina-zirkonia adalah monoklinik-zirkonia, tetragonal-zirkonia dan  $\delta$ -alumina.
2. Pada temperatur kalsinasi 900-1100°C, fasa zirkonia yang terbentuk adalah fasa tetragonal dengan ukuran kristal berkisar antara 5,9-18,2 nm, sedangkan pada 1200°C dan 1250°C didapatkan fasa monoklinik dan tetragonal dengan ukuran kristal pada fasa tetragonal adalah 20,7 dan 25,7 nm.
3. Fasa alumina yang terbentuk adalah  $\delta$ -alumina pada temperatur 1200°C dan 1250°C.
4. Sintesis komposit alumina dan zirkonia melalui metode *precursor calcining process* dengan pengadukan pada kecepatan tinggi, yaitu 15000 rpm,

mengibatkan morfologi partikel mengikuti alur dari pulp, yaitu seperti bongkahan memanjang dengan ukuran pada skala mikrometer.

### DAFTAR PUSTAKA

- W.H. Gitzen (Ed.), *Alumina as a Ceramic Material*, (American Ceramic Society, Columbia, Ohio, 1970), p.43.
- D. Ganguli dan M. Chatterjee, *Ceramic Powder Preparation: A Handbook* (Kluwer Academic Publishers, Boston, 1997), p.75.
- M. Chatterjee, M.K. Naskar, dan D. Ganguli, *Sol-Emulsion-Gel Synthesis of Alumina-zirconia Composite Microspheres*, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2003, 28:217-225.
- T. Klimova, M.L. Rojas, dan P. Catillo, R. Cuevas, J. Ramirez, *Characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> mixed oxide supports prepared by sol-gel method*, *Microporous and mesoporous materials*. 1998, 20:293-306.
- H. Neumann, G. Hotzel, dan G. Lindermann, *Advanced planar oxygen censors for future emission control strategies*, 1997, SAE 970459.
- S. Park, J.M. Vohs, dan R.J. Gorte, *Direct oxidation of hydrocarbons in a solid-oxide fuel cell*, *Nature*. 2000, 404:265-267.
- A. Beitollahi, H. Hosseini-Bay, dan H. Sapoorlaki, *Synthesis and characterization of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> nanocomposite powder by sucrose process*. *Journal of Material Science: Material in Electronics*. 2010, 21:130-136.
- B. Kibbel dan AH Heuer, *Exaggerated Grain Growth In ZrO<sub>2</sub>-Toughened Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, *Journal of American Ceramic Society*. 1986, 69[3]:231.
- Green, D. J., *Critical Microstructures for Microcracking in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> Composites*, *Journal of American Ceramic Society*. 1982, 65(12):610-614.
- M-L. Balmer, F.F. Lange, dan V. Jayaram, dan C.G. Levi, *Development of nano-composite microstructures in Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> via the solution precursor method*,

- Journal of American Ceramic Society. 1995, 78:1489.
- B. Fegley, Jr, P. White, dan HK Bowen, *Preparation of zirconia-alumina powders by zirconium alkoxide hydrolysis*, Journal of American Ceramic Society. 1985, 68:C-60-C-62.
- Dynys, F.W. dan Halloran, J.W., *Alpha alumina formation in alum-derived gamma alumina*, Journal of the American Ceramic Society. 1982, 65(9):442-448.
- R.d. Purohit, S. Saha, dan A.K. Tyagi, *Combustion synthesis of nanocrystalline ZrO<sub>2</sub> powder : XRD, raman spectroscopy and TEM studies*, Materials science and engineering. B, Solid-state materials for advanced technology. 2006, 130:57-60.
- K C Patil, MS Hedge, Tanu Rattan, dan S T Aruna, *Chemistry of Nanocrystalline Oxide Materials*, Combustion Synthesis, Properties and Applications, World Scientific, ISBN-13 978-981-279-314-0, New Jersey, (2008).
- W. Pyda, *Nano-ceramic aspect of reparation and processing of zirconia nanopowders*, Materials Science-Poland. 2008, 26(2): 403-412.
- Daiping He, Yunjie Ding, Hongyuan Luo, dan Can Li, *Effects of zirconia phase on the synthesis of higher alcohols over zirconia and modified zirconia*, Journal of Molecular Catalysis A:Chemical. 2004, 208:267-271.
- Subir Roy, *Nanocrystalline undoped tetragonal and cubic zirconia synthesized using poly-acrylamide as gel and matrix*, Journal of Sol-Gel Science and Technology. 2007, 44: 227-233.