

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANO POWDER ALUMINA TITANIA DENGAN METODE MASKING GEL CALCINATION

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF ALUMINUM TITANATE NANO POWDER BY MASKING GEL CALCINATION METHOD

Apriani Setiati, Suhanda, Naili Sofiyangingsih, Yoyo Suparyo

Balai Besar Keramik, Kementerian Perindustrian
aprianisetiati@yahoo.com

ABSTRAK

Nanopowder alumina titania ($Al_2O_3.TiO_2$) telah terbentuk pada temperatur 1200 °C dengan metode *masking-gel calcination*. Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan sintesis dan karakterisasi nano *powder* alumina titania. Bahan-bahan yang digunakan adalah $Al(OH)_3$, TiO_2 , asam sulfat, sukrosa dan ammonia. Metode *masking gel calcination* merupakan paten Balai Besar Keramik dengan nomor paten P00201000111. Metode ini merupakan modifikasi metode *bottom up* yang mengombinasikan proses fisika dan kimia yang dapat menghasilkan partikel berukuran nanometrik dengan distribusi ukuran partikel yang sempit. Hasil karakterisasi dengan X-RD, SEM, TEM dan PSA menunjukkan bahwa pada temperatur 1200 °C telah terbentuk nano *powder* alumina titania dengan ukuran partikel ≤ 30 nm, bentuk kristal silinder yang merupakan bentuk rutil dan rhombohedral yang merupakan bentuk dari $\alpha-Al_2O_3$.

Kata kunci : nano *powder* alumina titania, *masking-gel calcination*, karakterisasi

ABSTRACT

Nano powder of aluminum titanate ($Al_2O_3.TiO_2$) have been formed at temperature of 1200 °C by *masking-gel calcination* method. The research's goal was to synthesize and characterize of aluminum titanate nano powder. The raw materials used were $Al(OH)_3$, TiO_2 , sulphuric acid, sucrose and ammonia. *Masking gel calcination* method is Center for Ceramic's patent with number of patent is P00201000111. This method is the modification of *bottom up* method that combine physical and chemical process which result the particle in nanometric which particle distribution is very narrow. Characterization results of X-RD, SEM, TEM and PSA showed that at temperature of 1200 °C have formed aluminum titanate nanopowder with particle size ≤ 30 nm, which cylindrical crystal that was rutile and rhombohedral that was $\alpha-Al_2O_3$ form.

Keywords : aluminum titanate nanopowder, *masking-gel calcination*, characterization

PENDAHULUAN

Alumina titania adalah gabungan material yang terdiri dari dua komponen material penyusun, baik secara mikro ataupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya (Toto Rusianto, 2005). Gabungan material tersebut mempunyai sifat tersendiri yang lepas dari karakter masing-masing bahan penyusunnya dan akan membentuk mineral-mineral stabil (mineral sekunder) pada temperatur tertentu. Pada saat sekarang ini alumina titania merupakan material yang diproses secara nano teknologi karena menghasilkan ukuran yang sangat kecil, luas permukaan yang besar, sifat mikrostruktur yang kompak sehingga menghasilkan sifat mekanis, optikal, elektronik, magnetik dan kimia yang lebih unggul untuk setiap variasi bahan dan aplikasinya (Atilla Evcin and D. Asli Kaya, 2010). Karakteristik alumina titania seperti ketahanan terhadap kejutan suhu, koefisien

muai panas yang rendah, konduktivitas panas rendah, modulus *Young* rendah dan tahan terhadap serangan kimia, titik leleh dan ketahanan korosi yang tinggi menyebabkan alumina titania dapat digunakan sebagai bahan keramik struktural seperti isolasi dalam mesin seperti *portlainer*, ruang gerak (*swirl chamber*), *priston bottoms*, *turbochargers*, isolator *manifold* dan aplikasi keramik struktural lainnya (Atilla Evcin and D. Asli Kaya, 2010). Sobhani, H.R. Rezaie dan R. Naghizadeh (2008) telah melakukan penelitian sintesis alumina titania dengan proses *sol-gel* pada temperatur rendah sekitar 750 °C. Ukuran partikel yang diperoleh 100 nm, tetapi partikelnya mudah beraglomerasi seperti kol. Jiang Weihui et al. telah membuat film nano komposit alumina titania yang dilapiskan pada substrat silikon karbida dengan proses nonhidrolitik *sol-gel* dengan menggunakan bahan aluminium klorida anhidrat dan titanium tetraklorida sebagai

prekursor (Jiang Weihui et al., 2010). Film alumina titania telah terbentuk pada temperatur 750 °C dengan ukuran kristal 10 nm dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Kekurangannya adalah ukuran kristal meningkat sampai 120 nm pada temperatur 1350 °C. Atilla Evcin and D.

Asli Kaya (2010) telah berhasil mensintesis nano *fiber* alumina titania dengan metode elektrospinning menggunakan larutan sol alumina, sol titania dan poly vinyl pyrolidone (PVP). Nano *fiber* yang dihasilkan berukuran 91 nm. M. Jayasankar et. al. (2007) telah berhasil mensintesis alumina titania dengan proses *sol-gel* dari bahan boehmit dan titanium hidroksida. Hasilnya menunjukkan bahwa komposit alumina titania terbentuk pada temperatur 1550 °C dengan ukuran partikel 2-3 µm. Secara konvensional, serbuk alumina titania ini disintesis dari campuran serbuk Al₂O₃ dan TiO₂ yang digiling sampai ukuran tertentu dan dikalsinasi. Metode ini sangat sulit untuk menjadi homogen. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah untuk mensintesis dan mengkarakterisasi nano *powder* alumina titania dengan metode *masking gel calcination* yang dapat menghasilkan nano partikel dengan distribusi ukuran partikel yang sempit.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah gipsit (Al(OH)₃) teknis, TiO₂ teknis, asam sulfat pa. (95-97)%, ammonia 21 %, dan sukrosa. Sintesis nano *powder* menggunakan alat *mixer stirrer dual speed 2000 rpm, pot mill* dan *jar mill*, oven pengering, tungku 900°C *Heraus* dan tungku 1700°C *Nabertherm*. Karakterisasi untuk penentuan komposisi fasa mineral serbuk hasil kalsinasi dianalisis menggunakan alat *X-RD X'Pert PRO MPD with X'Celerator* dari PANalytical dengan *setting tube* menggunakan *Ceramic Cu Long Fine Focus* dengan *step size* 0,0084°, tegangan 40 kV dan arus 40 mA. Metode identifikasi mineral menggunakan *Hanawalt* yang dibantu dengan *data base JCPDS (International Center for Diffraction Data)*.

Sebagai perbandingan juga dilakukan identifikasi menggunakan program *XPOWDER Ver. 2004.04.70 Pro*. Mikrostruktur dianalisis menggunakan *JEOL/EO JSM-6360*-Jepang. Produk serbuk juga dianalisis menggunakan TEM. Untuk mengetahui distribusi ukuran partikel, dilakukan analisis dengan alat *Particle Size Analysis* merek *NIMBUS* jenis *OPUS Particle Size Analysis Windox 5*.

Tahap Penelitian

Terdapat 2 (dua) tahap pada penelitian ini yaitu tahap penyiapan *powder* nano alumina titania dan tahap karakterisasi meliputi pengujian mineralogi, mikrostruktur dan distribusi ukuran partikel.

Metode Penelitian

Sintesis nano alumina titania dilakukan dengan menggunakan *metode masking gel calcination* yang merupakan paten Balai Besar Keramik dengan nomor paten P00201000111. Metode ini merupakan kombinasi proses fisika dan kimia yang dapat menghasilkan partikel berukuran nanometrik dengan distribusi ukuran partikel yang sempit.

Variabel yang digunakan adalah komposisi bahan Al(OH)₃ 97 %, TiO₂ 3 % dan Al(OH)₃ 94 %, TiO₂ 6 % dengan variasi pembakaran 1000 °C, 1100 °C dan 1200 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh destruksi (*polishing*) asam sulfat, penambahan ammonia dan sukrosa

Alumunium hidroksida Al(OH)₃ merupakan oksida amfoter yang dapat larut di dalam asam sulfat membentuk AlO(OH) atau boehmit dan Al₂(SO₄)₃ (Hong-Yang Lu, Wei-Lin Wang, Wei-Hsing Tuan dan Ming-Hong Lin, 2004). Bentuk kristal boehmit sangat dipengaruhi kondisi preparasi awal pembuatannya. Jika boehmit disiapkan dari fasa cair dengan metode pengendapan atau hidrotermal, kondisi penelitian seperti sumber alumunium, bahan pengendap, pH larutan, temperatur, waktu *ageing*, dan

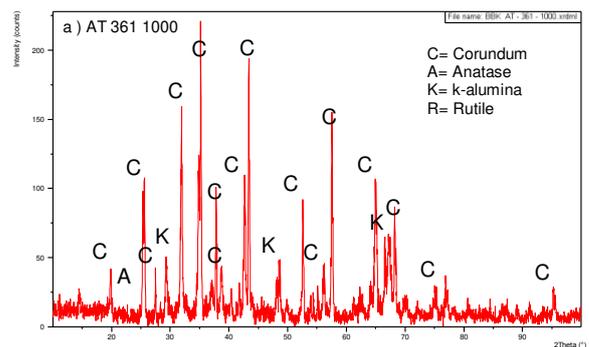
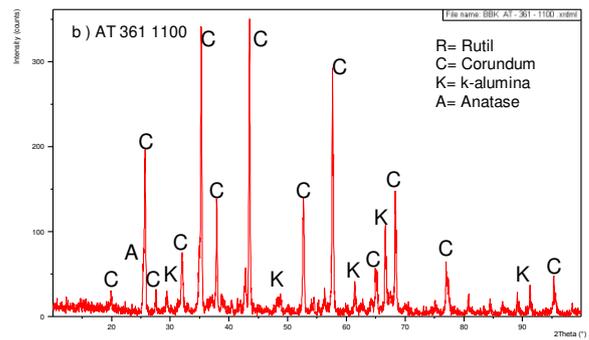
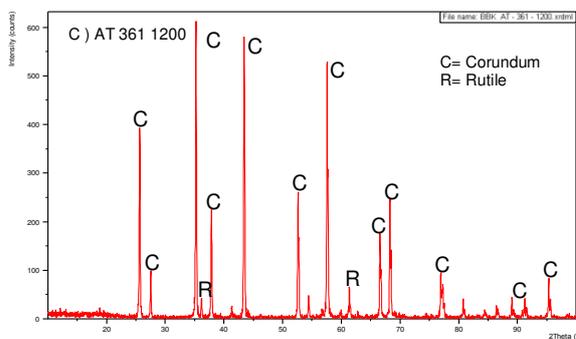
kondisi pengeringan dapat mempengaruhi ukuran kristal boehmit. Penambahan ammonia bertujuan untuk mengembalikan kondisi reaksi asam akibat penambahan asam sulfat menjadi netral atau ke arah basa. Sedangkan gugus -OH pada sukrosa dapat mempertahankan ukuran partikel campuran agar tidak semakin membesar dengan cara menyelubungi (*masking*) partikel alumina dan titania (Frank Edwin dkk, Suhanda, Soesilawati, Rifki Septawendar, Nuryanto, 2010). Secara garis besar, reaksi yang terjadi pada proses pembentukan bodi alumina titania ini diperkirakan sebagai berikut :



Titania terhadap alumina dalam jumlah yang sedikit berperan sangat dominan sebagai bahan penguat (*doping material*) fasa kristal atau matriks alumina yang akan terbentuk dengan titania tetap muncul sebagai mineral rutil atau anatase. Dengan kata lain, titania dapat juga berperan sebagai pelebur (*sintering aid*) yang menghasilkan fasa gelas (*solid solution*)

Karakteristik fasa mineral serbuk hasil kalsinasi

Karakteristik fasa mineral suatu material hasil sintesis merupakan salah satu hal yang penting untuk mengetahui sejauh mana fasa mineral yang diharapkan terbentuk. Gambar 2 menunjukkan pola difraksi XRD (*X-Ray Diffraction*) serbuk hasil kalsinasi dengan kode AT 361 1000, AT 361 1100 dan AT 361 1200.

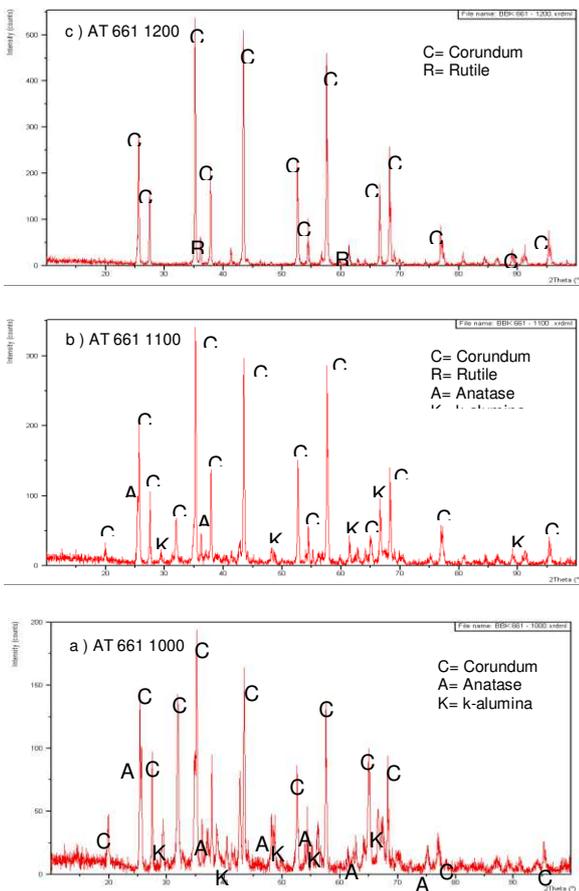


Gambar 2. Pola difraktogram XRD (*X-Ray Diffraction*) pembentukan nano powder alumina titania dengan metode *masking-gel calcination* untuk AT 361.

Fasa mineral serbuk AT 361 1000 adalah korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), anatase (TiO_2), kappa alumina ($k\text{-Al}_2\text{O}_3$), dan rutil (TiO_2). Mineral rutil dan anatase dengan intensitas rendah berasal dari pengujian fasa mineral awal bahan TiO_2 . Fasa $k\text{-Al}_2\text{O}_3$ berasal dari gibsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) pada awal pengujian fasa mineral bahan yang pada kalsinasi pada temperatur 1000 °C sebagian bertransformasi menjadi boehmit ($\text{AlO}(\text{OH})$), sebagian lagi (sisanya) pada temperatur antara (800-1000) °C bertransformasi menjadi korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Diperkirakan fasa $k\text{-Al}_2\text{O}_3$ sudah muncul pada temperatur kalsinasi 900 °C sesuai dengan teori fasa transisi alumina dari bahan gibsit bahwa $k\text{-Al}_2\text{O}_3$ terbentuk pada temperatur kalsinasi (900-1000) °C (Souza Santos, P., H. Souza Santos and S.P. Toledo, 2000).

Untuk serbuk dengan kode AT 361 1100 terlihat bahwa mineral yang muncul adalah korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), anatase (TiO_2), kappa-alumina ($k\text{-Al}_2\text{O}_3$), dan rutil (TiO_2). Dengan meningkatnya temperatur kalsinasi, intensitas anatase dan korundum meningkat pula, sedangkan intensitas kappa-alumina

tetap karena temperatur 1100 °C merupakan temperatur transisi kappa alumina untuk bertransformasi menjadi korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). Peningkatan temperatur menyebabkan terjadinya pengompakan dan perubahan fasa mineral material. Pada saat temperatur kalsinasi dinaikkan menjadi 1200 °C, fasa mineral anatase serbuk dengan kode AT 361 1200 bertransformasi menjadi rutil yang merupakan mineral yang stabil, sedangkan $\text{k-Al}_2\text{O}_3$ bertransformasi menjadi korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), yang merupakan mineral yang stabil juga. Pola difraksi XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk serbuk hasil kalsinasi dengan kode AT 661 1000, AT 661 1100 dan AT 661 1200 ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola difraktogram XRD (*X-Ray Diffraction*) pembentukan serbuk alumina titania dengan metode *masking-gel calcination*.

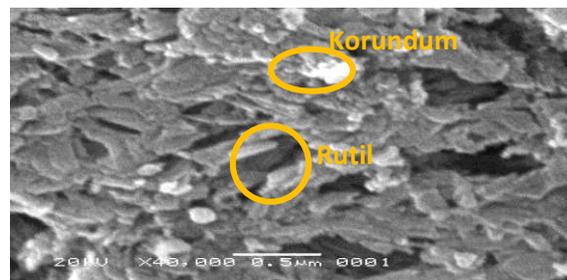
Pada serbuk dengan perbandingan bahan $\text{Al}(\text{OH})_3$ dan $\text{TiO}_2 = 94\% : 6\%$ dikalsinasi pada temperatur 1000 °C (AT 661 1000),

fasa mineral yang muncul adalah korundum ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), anatase (TiO_2) dan kappa-alumina ($\text{k-Al}_2\text{O}_3$). Intensitas anatase sedikit lebih tinggi dibanding dengan intensitas anatase pada serbuk dengan kode AT 361 1000, sedangkan kappa-alumina dan korundum intensitasnya menurun. Komposisi kandungan TiO_2 dalam jumlah tertentu pada alumina dapat meningkatkan sifat fisis dan mekanis alumina karena bersifat sebagai *sintering aid* atau *solid solution*.

Dengan meningkatnya temperatur kalsinasi menjadi 1100 °C, intensitas mineral korundum, anatase dan kappa alumina juga meningkat. Pada AT 661 1200, anatase bertransformasi menjadi rutil, sedangkan kappa alumina bertransformasi menjadi korundum dengan intensitas yang lebih tinggi dibanding AT 661 1100. Bila ditinjau dari variasi komposisi bahan, yang paling efektif membentuk bodi nano alumina titania adalah bahan yang mengandung TiO_2 sebanyak 3 % dengan temperatur kalsinasi 1200 °C karena pada kondisi tersebut fasa mineral korundum dan rutil terbentuk dengan intensitas yang tertinggi. Hal ini telah dijelaskan sebaliknya bahwa TiO_2 yang berkadar tinggi (AT 661) akan cenderung membentuk fasa gelas, sehingga fasa kristal korundum dan rutil dengan kapasitas lebih rendah.

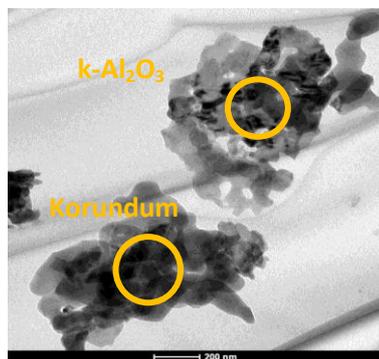
Karakteristik Mikrostruktur

Gambar SEM (*Scanning Electron Microscope*) pembentukan bodi alumina titania dengan temperatur kalsinasi 1200 °C untuk kode serbuk AT 361 1200 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Foto morfologi SEM (*Scanning Electron Microscope*) nano alumina titania berbasis gipsit kalsinasi suhu 1200 °C

Pada Gambar 4 sesuai juga dengan hasil karakteristik mineraloginya, menunjukkan terdapatnya mineral berbentuk batangan-batangan yang merupakan bentuk dari mineral rutil, sedangkan bentuk mineral korundum berupa lempengan-lempengan memanjang *rhomboidal* yang menunjukkan keberadaan mineral korundum. Bentuk partikel atau kristal dengan menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*) pada serbuk AT 361 1000 ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Foto mikrostruktur TEM (*Transmission Electron Microscope*) nano alumina titania berbasis gibsit kalsinasi suhu 1000°C (AT 361 1000)

Dari gambar tersebut terlihat mineral yang saling bertumpuk sehingga tidak terlalu jelas perbedaan bentuk mineral yang ada. Seperti pada pembahasan sebelumnya, bahwa mineral atau partikel yang saling bertumpuk tersebut akibat adanya fasa gelas (*solid solution*) dari alumina titania yang cukup tinggi.

Serbuk AT 661 1000

Bentuk partikel atau kristal dengan menggunakan TEM (*Transmission Electron Microscope*) pada serbuk AT 661 1000 ditunjukkan pada Gambar 6. Pada TEM (*Transmission Electron Microscope*) pada Gambar 6 untuk AT 661 1000 dapat dilihat bentuk lempengan-lempengan tidak beraturan yang merupakan bentuk dari kappa-alumina, sedangkan bentuk mirip lempengan-lempengan *rhomboidal* adalah bentuk dari mineral korundum.



Gambar 6. Foto mikrostruktur TEM (*Transmission Electron Microscope*) nano alumina titania berbasis bayerit setelah dikalsinasi suhu 1000°C (AT 661 1000)

Karakteristik Distribusi Ukuran Partikel/ Kristal (*Particle Size Analysis*)

Particle Size Analysis bertujuan untuk mengetahui dan mengontrol distribusi ukuran partikel yang dikehendaki. Data hasil distribusi ukuran partikel ditunjukkan pada Tabel 1. Rentang distribusi ukuran partikel AT 361 bervariasi tergantung pada temperatur kalsinasinya. Semakin tinggi temperatur kalsinasi maka semakin sempit rentang distribusi ukuran partikelnya, semakin banyak jumlah ukuran partikel halus (ukuran partikel terbanyak terdapat pada AT 361 1200, yaitu ukuran 10 nm sebanyak 50,34 %), semakin meningkat pula jumlah partikel yang berukuran ≤ 100 nm (distribusi ukuran partikel ≤ 100 nm sebanyak 100 %). Hal ini dapat terjadi diperkirakan karena rangkaian proses *masking gel calcination* serbuk alumina titania pada temperatur kalsinasi yang lebih tinggi (1200 °C) telah mencapai fungsi efektifitas *masking gel* yang paling tinggi yang mampu mempertahankan ukuran partikel berada pada ukuran nanometer tanpa terjadi aglomerasi. Fenomena tersebut diakibatkan oleh proses terisolasi elektron pada suatu molekul/partikel dalam suatu sistem berukuran nanometer yang dikenal sebagai efek isolasi kuantum (*quantum confinement effect, QCE*) atau efek ukuran kuantum (*quantum size effect, QSE*). Prinsip dasar efek ini dapat dijelaskan secara sederhana dengan prinsip ketidakpastian Heisenberg (*Heisenberg's uncertainty principle*).

Jika suatu partikel terisolasi pada suatu daerah sepanjang sumbu x dengan suatu variasi jarak Δx , maka partikel tersebut

akan memiliki suatu nilai ketidakpastian momentum (Veinardi Suendo, 2010).

Tabel 1. Data hasil uji *Particle Size Analysis*

X_0 , nm	ΔQ_0 , %					
	AT 361 1000	AT 361 1100	AT 361 1200	AT 661 1000	AT 661 1100	AT 661 1200
<10	1,85	2,48	50,34	2,64	68,77	49,80
10-20	4,35	6,23	37,60	6,93	31,22	37,64
20-30	10,24	15,07	12,06	16,53	0	12,56
30-40	8,59	12,76	0	13,62	0	0
40-50	11,25	15,94	0	16,80		0
50-60	13,51	17,46		17,87		
60-80	14,68	15,97		15,35		
80-100	14,12	10,73		8,95		
110-130	11,51	3,37		1,31		
130-160	7,24	0		0		
160-200	2,63	0		0		
220-280	0					
Distribusi ukuran partikel, nm	10-200	10-130	10-30	10-130	10-20	10-30

Keterangan : X_0 = ukuran partikel, nm ΔQ_0 , % = fraksi berat, %

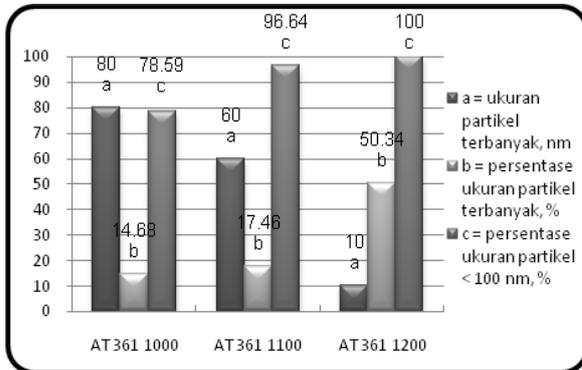
Jika partikel tersebut bergerak bebas dan memiliki massa, maka energi isolasi dapat melawan energi kinetik. Efek isolasi akan nampak jelas jika energi isolasi melampaui atau setara dengan energi kinetik partikel akibat gerak termal pada arah x yang dalam penelitian ini gerak termal dinyatakan dengan temperatur kalsinasi.

Hal ini menunjukkan bahwa jika ukuran suatu material pada satu atau lebih dimensinya menjadi lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan proses fisik, maka efek isolasi kuantum (*quantum confinement effect, QCE*) akan menjadi dominan dan teramati (Veinardi Suendo, 2010). Hal ini tidak terjadi pada serbuk alumina titania AT 661 dengan jumlah TiO_2 dua kali lebih banyak daripada TiO_2 pada AT 361. Pada temperatur kalsinasi 1000 °C distribusinya lebar, kemudian pada temperatur kalsinasi 1100 °C distribusinya menyempit namun pada temperatur kalsinasi 1200 °C kembali melebar dan kecenderungan terjadinya penurunan jumlah ukuran partikel halus dan distribusi ukuran partikel yang melebar. Hal ini diperkirakan serbuk alumina titania

dengan jumlah TiO_2 lebih banyak pada AT 661 yang diproses secara *masking gel* dan *polishing liquid milling* menyebabkan menurunnya temperatur *sintering* (titik *sintering* AT 661 lebih rendah daripada AT 361) sehingga pada temperatur kalsinasi yang sama AT 661 terlebih dahulu mengalami pengompakan partikel-partikelnya yang akan semakin membesar atau terbentuknya fasa gelas.

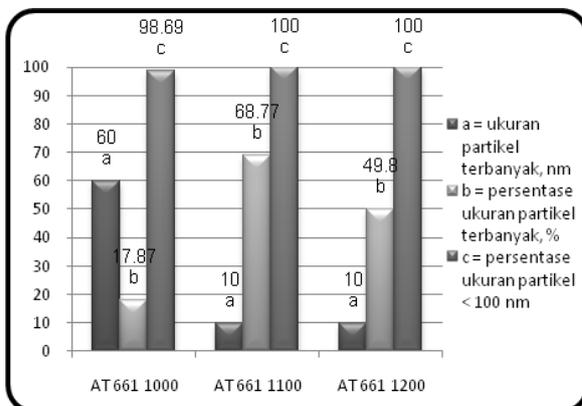
Bila ditinjau dari temperatur kalsinasi yang sama dengan komposisi yang berbeda, maka kecenderungannya adalah alumina titania yang memiliki TiO_2 yang lebih banyak memiliki rentang distribusi ukuran partikel yang lebih sempit. Gambar 7 menunjukkan informasi mengenai jumlah dan ukuran partikel terbanyak serta persentase ukuran partikel yang berukuran < 100 nm untuk alumina titania (97% : 3 %) pada berbagai variasi temperatur kalsinasi. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan memperhatikan ukuran partikel yang < 100 nm, maka AT 361 1200 telah mencapai nilai optimum yaitu ukuran partikel terkecil 10 nm sebesar 50,34 % yang termasuk dalam klasifikasi partikel

mesoporous ($2 \text{ nm} < d < 50 \text{ nm}$) dengan jumlah partikel ukuran nanometer mencapai 100 %. Kecenderungan pada AT 361 dengan variasi temperatur kalsinasi adalah membentuk partikel berukuran nanometer



Gambar 7. Partikel berukuran nanometer alumina titania (97% : 3 %) pada berbagai variasi temperatur kalsinasi

Gambar 8 menunjukkan informasi mengenai jumlah dan ukuran partikel terbanyak serta persentase ukuran partikel yang berukuran < 100 nm alumina titania (94% : 6 %) pada berbagai variasi temperatur kalsinasi. Pada Gambar 8 terjadi fenomena sebaliknya, distribusi ukuran partikelnya cenderung melebar. Hal ini mulai tampak pada AT 661 1100 yang hanya memiliki ukuran partikel terkecil 10 nm sebesar 68,77 % berkurang menjadi 49,8 % pada AT 661 1200 yang secara otomatis disertai munculnya ukuran partikel yang baru.



Gambar 8. Partikel berukuran nanometer alumina titania (94 % : 6 %) pada berbagai variasi temperatur kalsinasi.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa serbuk akan mengalami aglomerasi dengan semakin meningkatnya temperatur kalsinasi. Hal ini dapat disebabkan oleh semakin merapatnya antar partikel produk serbuk menuju titik *sintering*nya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada sintesis dan karakterisasi alumina titania dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jenis mineral yang terbentuk pada nano alumina titania yaitu rutil dan korundum yang merupakan fasa mineral utama yang stabil disamping fasa mineral lainnya dalam keramik fasa gelas.
2. Ukuran partikel optimum yang dihasilkan berdasarkan uji PSA yaitu nano alumina titania dengan komposisi bahan TiO_2 sebanyak 3 % dan $\text{Al}(\text{OH})_3$ 97 %, temperatur kalsinasi 1200 °C memiliki distribusi ukuran partikel (10-30) nm dengan partikel terbanyak berukuran < 10 nm sebesar 50,34 %
3. Teknologi pembentukan nano alumina titania dengan metode *masking-gel calcination* telah berhasil dan diharapkan dapat dipakai dalam proses produksi nano powder keramik lainnya.

Saran

Hasil penelitian ini masih perlu ditindaklanjuti atau dikembangkan ke arah pembuatan nano material dengan skala yang lebih besar serta ditinjau aspek teknologinya sehingga dapat diterapkan di industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Evcin, Atilla, D. Asli Kaya. 2010. Effect of Production Parameters on The Structure and Morphology of Aluminum titanate Nanofibers Produced Using Electrospinning Technique. Scientific Research and Essays, 5(23) : 3682-3686.

- H.G., Riella, Frajndlich, E.U., C, Kuhnen, N.C., Durazzo, M. 2009. Application of Sol Gel Technology to Produce Aluminium Titanate. *ICAM*.
- Jayasankar, M., S. Ananthakumar, P. Mukundan and K.G.K. Warriar. 2007. Low Temperature Synthesis of Aluminium titanate by An Aqueous Sol-Gel Route. *Materials Letters* : 61(3) : 790-793.
- Sobhani, M., H.R. Rezaie and R. Naghizadeh. 2008. Sol-gel Synthesis of Aluminum titanate (Al_2TiO_5) Nano-particles. *Journal of materials processing technology*, 206 : 282-285.
- Souza Santos, P., H. Souza Santos and S.P. Toledo. 2000. Standard Transition Aluminas Electron Microscopy Studies. *Materials Research* : 3(4) : 104-114.
- Toto Rusianto. 2005. Pengaruh Kadar TiO_2 terhadap Kekuatan Bending Komposit Serbuk Al/ TiO_2 . *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1).
- Veinardi Suendo. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Material Struktur Nano. Pendidikan dan Pelatihan Nano “Dari Teori ke Aplikasi”.
- Weihui, Jiang, Feng Guo, Liu Jianmin, Tan Xunyan, Yu Yun. 2010. Preparation of Aluminum Titanate Film via Nonhydrolytic Sol-Gel Method and its Fused Salt Corrosion Resistance. *Journal of Chinese Ceramic Society*.
- Frank Edwin, Suhanda, Soesilawati, Rifki Septawendar, Nuryanto. 2010. Pembuatan Nano Komposit Keramik Berbasis Nano Alumina dan Nano Silika untuk Keramik Struktural. Laporan Teknis Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa.
- Hong-Yang Lu, Wei-Lin Wang, Wei-Hsing Tuan dan Ming-Hong Lin. 2004. Acicular Mullite Crystals in Vitrified Kaolin. Center for Nanoscience, Institute of Materials Science and Engineering, National Sun Yat-Sen University, Kaohsiung 80424, Taiwan, *J. Am. Ceram. Soc.*, 87 [10] 1843-1847