

# BAB 3

---

## Karakterisasi Gel *Cerium Stabilized Zirkonia* Hasil Proses Gelasi Eksternal

Ariyani Kusuma Dewi, Sri Rinanti S., R. Sukarsono, Meniek R., Sarjono, Kristanti N.,  
Dedy Husnurrofiq

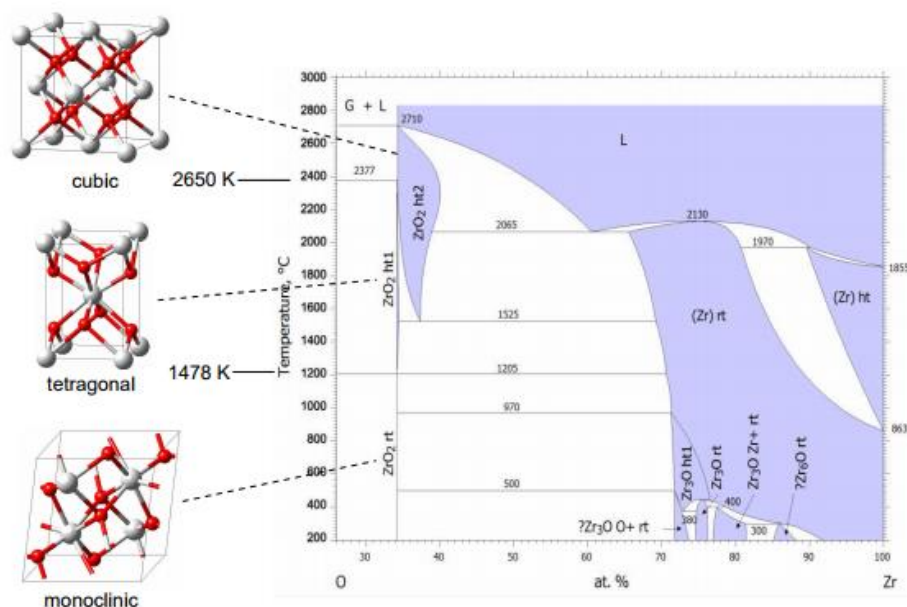
### 3.1. PENDAHULUAN

Rencana strategis BATAN telah menetapkan kebijakan litbang di bidang energi pada sistem pemasok energi nuklir kogenerasi Reaktor Suhu Tinggi (RST), yang fasilitasnya disebut Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) mempunyai tugas antara lain melaksanakan litbang bahan bakar reaktor daya, yang diharapkan pada suatu saat dapat berkontribusi dalam penyediaan bahan bakar yang berkelanjutan untuk pengoperasian RDE. Strategi penyediaan bahan bakar yang berkelanjutan dapat direalisasikan dengan strategi domestifikasi industri bahan bakar nuklir. Untuk maksud tersebut, penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar RDE menjadi sangat penting. Penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir mensyaratkan penguasaan material proses, proses fabrikasi dan peralatan fabrikasi bahan bakar RDE, yang dapat diperoleh melalui eksperimen.

Karakterisasi hasil proses fabrikasi bahan bakar sangat diperlukan untuk memperoleh produk yang sesuai dengan persyaratan bahan bakar RST. Material yang digunakan adalah *cerium stabilized zirkonium* (CSZ) sebagai pengganti *surrogate* kernel  $UO_2$  yang akan dikenakan proses pelapisan menjadi partikel TRISO. Material CSZ dapat digunakan untuk simulasi proses pelapisan karena sifat kristal CSZ yang stabil pada temperatur tinggi (temperatur pelapisan  $\pm 1500^\circ C$ ). Pemilihan *surrogate* juga didasarkan pada sifat fisis dan kimia zirkonium yang memenuhi persyaratan sebagai pengganti uranium [1]. Zirkonium murni memiliki struktur monoklinik pada temperatur kamar akan tetap stabil sampai pada temperatur  $1205^\circ C$  (1478 K). Pada temperatur antara  $1170-2377^\circ C$  (2650 K), akan terbentuk struktur tetragonal zirkonium, sedangkan struktur *cubic* zirkonium akan terbentuk pada temperatur di atas  $2377^\circ C$ , seperti yang ditunjukkan pada diagram fasa Gambar 3.1.

Sifat zirkonium yang *polymorphism* menyebabkan zirkonium murni tidak dapat digunakan pada temperatur tinggi karena akan terjadi perubahan volume yang besar (3-5%) dan berdampak terjadinya keretakan [3]. Upaya untuk memperoleh sifat kristal yang stabil pada temperatur tinggi, maka zirkonium perlu distabilkan menggunakan cerium. Tahapan proses fabrikasi kernel CSZ sama dengan proses fabrikasi kernel  $UO_2$  sebagai bahan bakar RST. Proses fabrikasi kernel CSZ meliputi penyiapan larutan umpan, pembuatan gel melalui gelasi eksternal, dan perlakuan panas. Gelasi eksternal dipilih

karena prosesnya yang sederhana dan mudah dalam pengontrolan diameter yang seragam. Karakterisasi kernel CSZ hasil fabrikasi bertujuan untuk mengetahui sifat kernel kesesuaiannya dengan spesifikasi yang dipersyaratkan untuk pembuatan bahan bakar RST. Karakteristik kernel CSZ dipengaruhi oleh parameter proses antara lain viskositas, konduktivitas dan laju alir sol.



Gambar 3.1. Diagram fasa O-Zr [2]

## 3.2. METODOLOGI

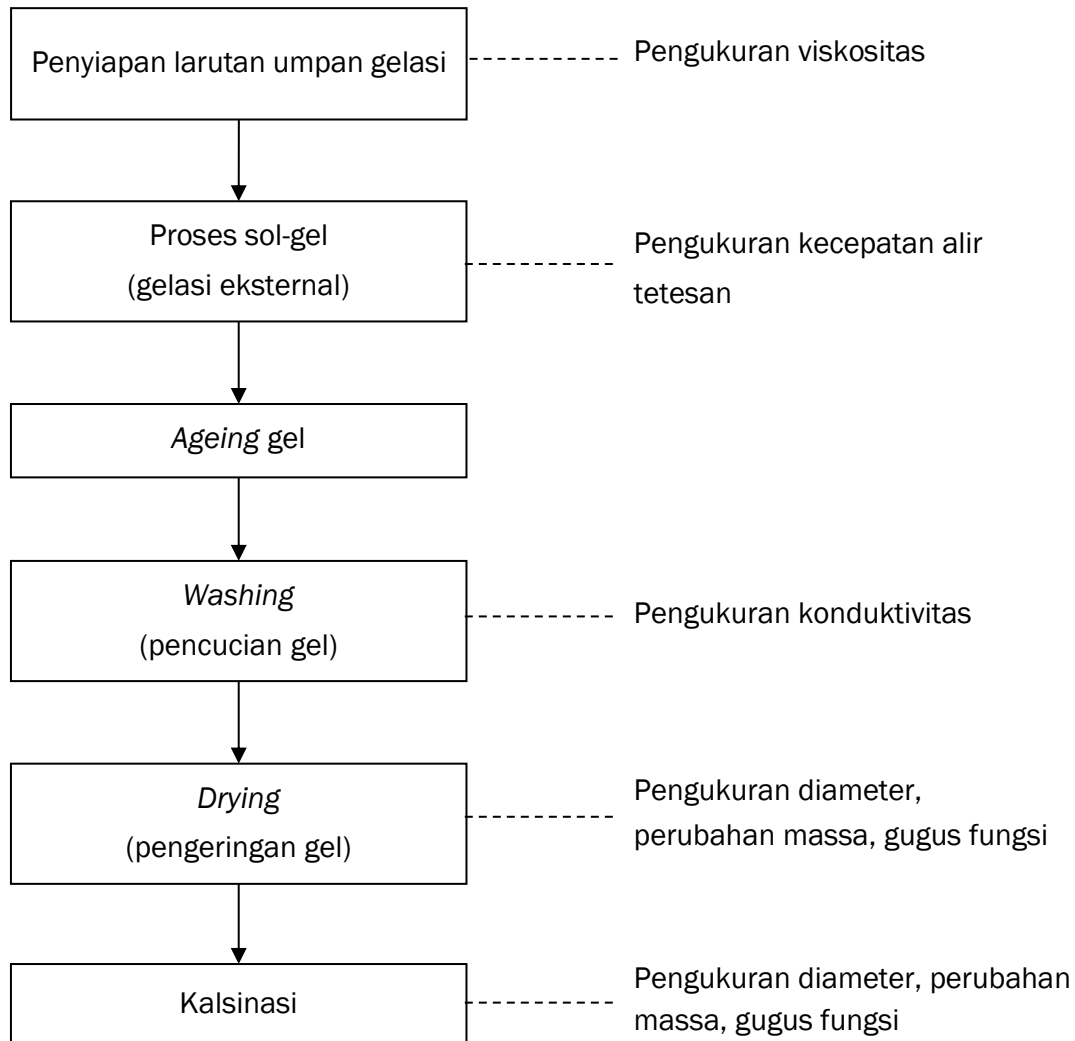
Fabrikasi kernel CSZ terdiri atas 3 tahap yaitu penyiapan larutan umpan, pembuatan gel melalui proses gelasi eksternal dan perlakuan panas. Setiap tahapan proses dilakukan karakterisasi menggunakan alat analisis viskometer, konduktometer, *Thermal Gravimetry Analysis/Differential Thermal Analyzer* (TGA/DTA) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Viskometer digunakan untuk mengukur viskositas larutan umpan gelasi agar sesuai dengan spesifikasi alat penetes sol-gel dan spesifikasi produk gel yang diinginkan.

Kadar larutan pencuci gel hasil proses gelasi eksternal dapat diukur melalui pengukuran konduktivitas cairan menggunakan konduktometer. TGA/DTA digunakan untuk analisis karakteristik termal CSZ yang berupa perubahan berat dan fasa CSZ untuk menentukan parameter optimal proses kalsinasi, reduksi dan sintering, sedangkan FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan senyawa yang terkandung dalam gel. Proses pembuatan kernel CSZ dan karakterisasinya secara skematis ditunjukkan pada Gambar 3.2.

### 3.2.1. Pembuatan larutan umpan

Umpan gelasi menggunakan logam cerium dan zirkonium yang diperoleh dari senyawa  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{ZrO}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan mol Ce:Zr = 1:4.

Kedua bahan dicampur dan dilarutkan ke dalam air bebas mineral (ABM). Urea ditambahkan ke dalam larutan tersebut dan akan terdekomposisi setelah dipanaskan pada temperatur  $80^{\circ}\text{C}$ . Urea terdekomposisi mengeluarkan ammonia dan bereaksi dengan logam Ce dan Zr membentuk *mixed-sol* cerium-zirkonium. Larutan umpan gelas diperoleh dengan menambahkan aditif *polyvinyl alcohol* (PVA) dan *tetrahydrofurfuryl alcohol* (THFA) ke dalam *mixed-sol* Ce-Zr sampai diperoleh viskositas tertentu sekitar 60 cP [4]. Larutan umpan kemudian didiamkan satu malam untuk menghilangkan gelembung udara yang timbul akibat pengadukan.



Gambar 3.2. Skema proses pembuatan kernel CSZ dan karakterisasinya

### 3.2.2. Pembuatan gel melalui proses gelasi eksternal

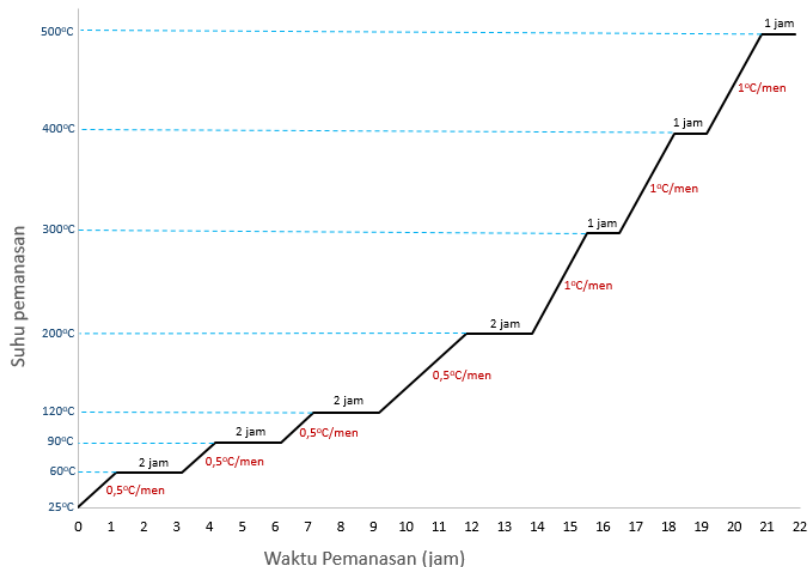
Larutan umpan yang telah didiamkan selama satu malam ditetaskan dengan unit gelasi eksternal menggunakan vibrasi dengan frekuensi dan amplitudo tertentu sehingga diperoleh tetesan yang laminar. Tetesan umpan melewati zona gas ammonia untuk proses presolidifikasi sebelum masuk ke dalam medium gelasi berupa larutan ammonium

hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) 25%. Tetesan umpan akan bereaksi dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan mengeras membentuk gel yang disebut proses solidifikasi.

Gel yang terbentuk kemudian di-*ageing* dalam larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  25% selama  $\pm 2$  jam untuk menyempurnakan reaksi gelasi. Kemudian, gel hasil *ageing* dicuci berturut-turut menggunakan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  2,5%, ABM, dan *isopropyl alcohol* (IPA). Pencucian dengan  $\text{NH}_4\text{OH}$  2,5% dimaksudkan untuk meminimalkan kandungan  $\text{NH}_4\text{OH}$  yang tertinggal di pori-pori gel, sedangkan pencucian dengan ABM untuk menghilangkan kandungan ammonium nitrat dan bahan organik di dalam gel. Pencucian dilakukan berulang sampai diperoleh konduktivitas akhir larutan pencuci  $\pm 20 \mu\text{S}$ . Kandungan air pencuci yang masih tertinggal dalam gel dihilangkan dengan cara melakukan pencucian menggunakan IPA. Kandungan air di dalam pori dapat mengakibatkan keretakan pada saat gel dipanaskan.

### 3.2.3. Perlakuan panas

Gel hasil pencucian dikeringkan pada temperatur kamar selama 12 jam, kemudian masing-masing dilakukan pemanasan pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$  dan  $120^\circ\text{C}$  selama 2 jam. Pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  dan  $90^\circ\text{C}$ , isopropil alkohol pada permukaan maupun di dalam gel CSZ menguap secara perlahan dan pada  $120^\circ\text{C}$  air menguap. Proses kalsinasi dilakukan pada temperatur antara  $300^\circ\text{C}$ - $500^\circ\text{C}$  dan pada temperatur antara  $120^\circ\text{C}$ - $300^\circ\text{C}$  terjadi dekomposisi bahan organik dan air kristal. Pada temperatur antara  $300^\circ\text{C}$ - $500^\circ\text{C}$  terjadi perubahan senyawa CSZ-hidroksida menjadi CSZ-oksida. Diagram skematik perlakuan panas pada gel CSZ dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram skematik perlakuan panas gel CSZ

## 3.3. DISKUSI

### 3.3.1. Larutan umpan

Hasil pembuatan larutan umpan gelasi dengan penambahan PVA pada kadar 36 dan 48 g/L diperoleh nilai viskositas umpan gelasi masing-masing sebesar 60 dan 97 cP. Penambahan aditif PVA dimaksudkan supaya diperoleh viskositas larutan umpan yang

sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Aditif PVA merupakan bahan yang sangat esensial dalam umpan gelas. Kadar PVA sangat mempengaruhi viskositas larutan umpan gelas. Tetapan dari larutan yang mengandung PVA memiliki tingkat kekerasan (*rigidity*) yang tinggi sehingga dapat menjaga kebulatan pada pembentukan gel [4]. Umpan gelas dengan viskositas 60 dan 97 cP setelah mengalami proses vibrasi pada frekuensi tertentu menghasilkan tetapan dengan laju alir seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Viskositas umpan gelas sebesar 60 cP dan frekuensi 100 Hz memberikan laju alir tetapan 28,8 mL/menit, sedangkan kenaikan viskositas menjadi 97 cP dengan frekuensi yang sama menyebabkan laju alir menurun. Hal ini disebabkan larutan umpan mempunyai kekentalan yang meningkat. Sementara itu semakin tinggi frekuensi, viskositas umpan gelas 97 cP mengalami peningkatan laju alir, karena peningkatan vibrasi menyebabkan tetapan gel semakin mudah lepas dari *nozzle*.

Tabel 3.1. Hubungan viskositas, frekuensi vibrator dan laju alir tetapan umpan gelas

Viskositas umpan gelas (cP)	Frekuensi (Hz)	Laju alir tetapan (mL/menit)
60	100	28,8
97	90	21,2
97	100	25,8
97	110	27,9

### 3.3.2. Konduktivitas larutan pencuci gel

Gel hasil *ageing* dicuci menggunakan  $\text{NH}_4\text{OH}$  2,5 % sebanyak dua kali dan dilanjutkan pencucian dengan ABM sampai kandungan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dalam gel seminimal mungkin. Kandungan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dalam cucian dapat diketahui dengan cara mengukur konduktivitas cairan pencuci menggunakan konduktometer. Tabel 3.2 menunjukkan nilai konduktivitas air sisa pencucian gel CSZ.

Tabel 3.2. Konduktivitas air sisa pencucian gel CSZ

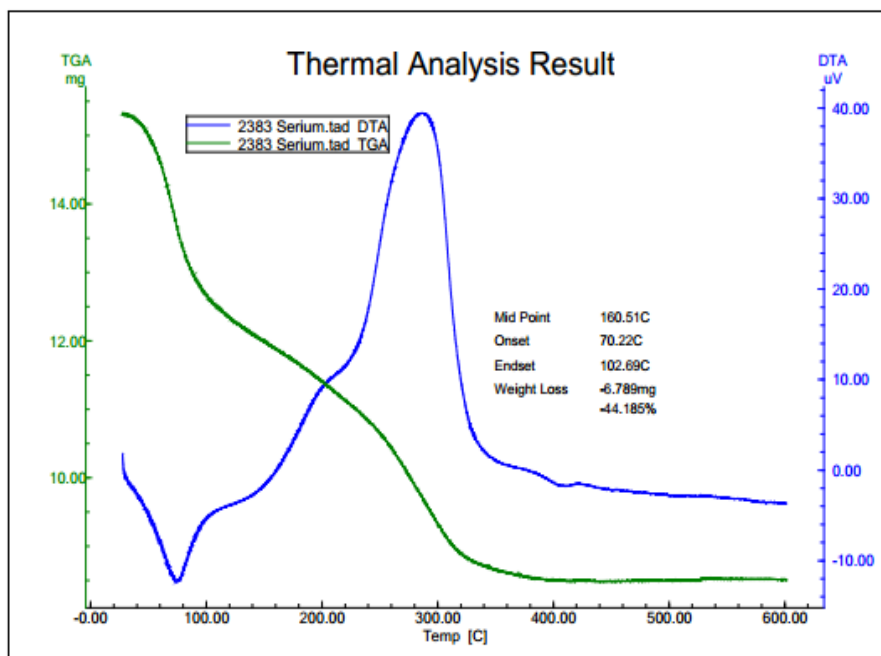
Air sisa pencucian ke-	Konduktivitas ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
1	550
2	285
3	142
4	76
5	51
6	27
7	17

Tabel 3.2 memperlihatkan bahwa semakin tinggi pengulangan pencucian, maka nilai konduktivitas cairan pencuci semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah

ion  $\text{NH}_4\text{OH}$  akan semakin kecil dengan pengulangan pencucian. Nilai konduktivitas cairan pencuci  $<20 \mu\text{S}/\text{cm}$  dianggap dapat menghindarkan gel dari keretakan pada proses pemanasan [7].

### 3.3.3. Perlakuan panas

Gel basah hasil pencucian dikeringkan pada temperatur kamar selama 12 jam. Pada kondisi tersebut, sebagian besar IPA yang menempel di permukaan gel menguap. Pengeringan pada temperatur  $60^\circ\text{C}$ ,  $90^\circ\text{C}$ ,  $120^\circ\text{C}$  dan  $200^\circ\text{C}$  masing-masing selama 2 jam dengan laju pemanasan  $0,5^\circ\text{C}/\text{menit}$  terjadi penurunan berat dan ukuran (diameter) gel yang cukup besar. Pada temperatur antara  $100^\circ\text{C}$ - $300^\circ\text{C}$  terjadi reaksi dekomposisi air bebas, air kristal, bahan organik dan IPA (menguap) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Termogram TGA/DTA gel CSZ hasil pengeringan

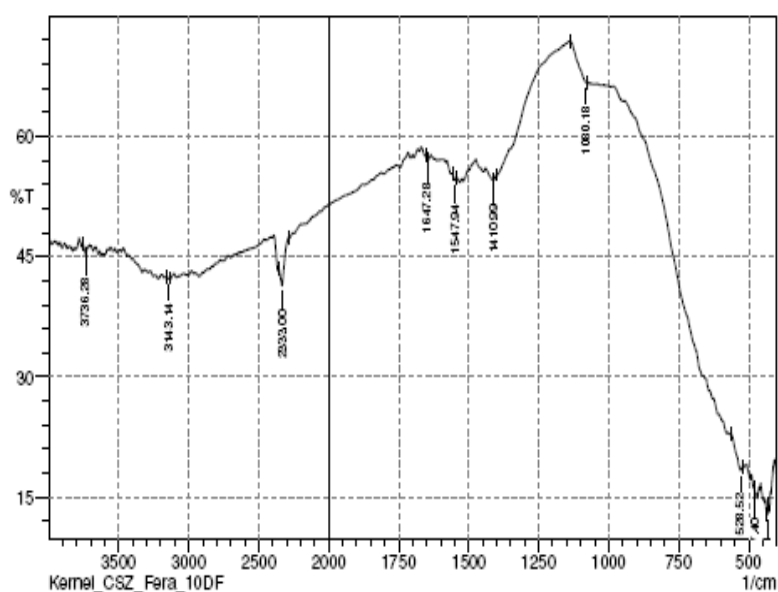
Gambar 3.4 menunjukkan puncak endotermik pada termogram TGA/DTA terukur pada temperatur  $80^\circ\text{C}$  terjadi pengurangan berat karena hilangnya air dan sisa  $\text{NH}_4\text{OH}$  sebesar 15%. Hal ini disebabkan oleh proses pengeringan sampai temperatur  $100^\circ\text{C}$  yang menyebabkan air mulai menguap. Mekanisme ini memungkinkan terjadinya pembentukan partikel-partikel zirkonium yang lebih rapat dalam *minispheres* [6]. Pada temperatur antara  $200^\circ\text{C}$ - $330^\circ\text{C}$  terjadi reaksi eksotermik yang menunjukkan terjadinya proses penguapan air kristal, bahan organik dan ammonium nitrat yang menyebabkan terjadi pengurangan berat sebesar 17,2% [7]. Pemanasan hingga temperatur  $400^\circ\text{C}$  tidak terjadi pengurangan berat yang signifikan yaitu  $<2\%$ , di mana masih terjadi proses penguapan sisa air kristal dan ammonium nitrat dalam gel. Saat pemanasan dilanjutkan sampai  $600^\circ\text{C}$ , tidak ada lagi pengurangan berat yang terukur. Pengurangan berat total yang terukur dari hasil analisis TGA/DTA sebesar 44,185%.

### 3.3.4. Analisis gugus fungsi

Spektrum IR kernel CSZ hasil kalsinasi pada 400°C ditunjukkan pada Gambar 3.5. Bila dibandingkan dengan referensi terdapat perbedaan frekuensi yang kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.5. Terdapat perbedaan kecil yang tercatat pada nilai frekuensi karena adanya perbedaan pada derajat hidrasi [6].

Tabel 3.3. Nilai frekuensi vibrasi gel CSZ hasil kalsinasi 400°C

Frekuensi vibrasi (Hz)		Gugus fungsi
Referensi	Pengamatan	
3500[8]	3736,28	-OH
3100[9]	3143,14	-OH
1640[10]	1647,28	-OH
1390[10]	1410,99	Ce-OH
1090[9]	1080,18	(NO <sub>3</sub> ) <sup>-</sup>
540[11]	528,52	Zr-O-Zr



Gambar 3.5. Spektrum FTIR kernel CSZ hasil kalsinasi 400 °C

Dari data pada Tabel 3.3 dapat ditentukan gugus fungsi yang masih terdapat dalam kernel CSZ hasil kalsinasi pada temperatur 400°C. Berdasarkan hasil analisis TGA/DTA, dapat diketahui bahwa pada temperatur >400°C, tidak terukur adanya pengurangan berat atau sudah tidak terjadi penguapan, namun dari hasil analisis FTIR untuk gel hasil pemanasan 400°C masih terdapat gugus nitrat dan hidroksil. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat kandungan air kristal dan ammonium nitrat yang terperangkap dalam pori-pori kernel CSZ. Hal ini dimungkinkan karena sifat kernel CSZ yang amorf. Porositas dari mikrosfer amorf tidak cukup untuk mengeluarkan gas yang terbentuk selama proses pemanasan, sehingga mengakibatkan terjadinya keretakan jika tekanan internal menjadi besar [12].

### 3.3.5. Pengamatan gel

Perubahan ukuran dan warna gel dari kondisi basah sampai dengan hasil kalsinasi dapat dilihat pada Tabel 3.4. Penyusutan diameter paling besar terjadi saat gel basah dikeringkan pada temperatur kamar (udara terbuka) yaitu 48,65%. Penyusutan ukuran total sampai temperatur 300°C terukur sebesar 64%. Penyusutan ini terjadi karena adanya penguapan zat organik, air kristal dan ammonium nitrat seperti yang ditunjukkan pada hasil analisis TGA/DTA Gambar 3.4. Warna gel semakin gelap hingga mendekati hitam sampai pada temperatur 200°C, namun berubah menjadi kuning terang setelah 300°C. Pada temperatur tersebut terjadi reaksi dekomposisi dari bahan organik dan ammonium nitrat yang ada di dalam gel.

Tabel 3.4. Gel CSZ hasil pengamatan dengan mikroskop digital

Gel CSZ	Perbesaran 50 x	D <sub>rerata</sub> (mm)
Gel basah setelah <i>ageing</i>		1,4725
Gel setelah di diamkan 1 malam		0,756
Gel setelah pengeringan 60°C		0,7091
Gel setelah pengeringan 90°C		0,639
Gel setelah pengeringan 120°C		0,638
Gel kering setelah pengeringan 200°C		0,5847
Gel kering setelah pengeringan 300°C		0,5306

Gambar gel pada Tabel 3.4. diperoleh menggunakan mikroskop optik digital dinolite premier dengan perbesaran maksimal 250 kali. Hasil pengamatan menggunakan dinolite menunjukkan sebagian besar gel kering sampai pada temperatur 120°C tampak



transparan dan mengkilat, serta memiliki permukaan yang halus. Namun, setelah temperatur di atas  $120^{\circ}\text{C}$  mulai terdapat beberapa gel kering yang memiliki permukaan kasar karena adanya pengerutan dan keretakan. Porositas kernel CSZ yang amorf menyebabkan gas-gas yang terbentuk selama pemanasan sebagian terjebak di dalam pori-pori, yang mengakibatkan naiknya tekanan internal sehingga terjadi keretakan.

Penggunaan larutan pencuci *Propylene glycol monomethyl ether* (PGME) sebagai *dewatering* dapat menghasilkan porositas yang tinggi karena sifatnya yang lebih cepat menguap. Porositas yang tinggi sangat penting dalam pencegahan keretakan [1]. Sifat rapuh kernel yang dihasilkan juga dapat disebabkan karena densitas yang rendah. Semakin tinggi temperatur *ageing* akan memperbesar ukuran *grain*, dan menambah sifat *toughness* dan *hardness* [13]. Cara untuk mengeliminasi keretakan pada kernel CSZ yang bersifat amorf dapat dilakukan dengan mengganti larutan pencuci IPA menggunakan PGME dan penambahan panas pada proses *ageing*.

### 3.4. KESIMPULAN

Gel *Ceria Stabilized Zirkonia* difabrikasi melalui proses gelasi eksternal yang dilanjutkan dengan proses *ageing*, *washing* (pencucian) dan *drying* (pengeringan) serta kalsinasi. Pengurangan massa total terjadi sebesar 44,185%, sedangkan penyusutan diameter gel terjadi sebesar 64%. Kondisi fisik gel basah sampai hasil proses pengeringan cukup baik, namun setelah proses kalsinasi terjadi keretakan. Hal ini dimungkinkan karena penyusutan ukuran diameter gel yang terlalu cepat. Selain itu, dari hasil uji menggunakan FTIR terhadap gel hasil kalsinasi pada temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  masih terdapat gugus hidroksil dan nitrat. Untuk mendapatkan gel hasil kalsinasi yang tidak retak dengan kandungan bahan organik minimal, maka perlu diteliti lebih lanjut.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wang, G., Ma Jingtao, Gao Yong, Zhao Xingyu, Hao Shaochang, Deng Changsheng. Precisely Controlling Preparation of Ceria-Stabilized Zirkonium Microspheres of  $\sim 100\mu\text{m}$  by External Gelation. *Int. J. Appl. Ceram. Technol*, 2016;1-7.
- [2] Anonim. Material Design Application Note. Phase Transition in  $\text{ZrO}_2$ : Temperature-Dependent Phase Transitions of  $\text{ZrO}_2$ ; 2009.
- [3] Sikalidis, Costas. *Advances in Ceramics: Electric and Magnetic Ceramics, Bioceramics, Ceramics and Environment*. InTech; 2011.
- [4] Wang, G., Ma Jingtao, Gao Yong, Zhao Xingyu, Hao Shaochang, Deng Changsheng, Bin Liu. Preparation of Ceria-Stabilized Zirkonium Microspheres by External Gelation: Size Control. *J Sol-Gel Sci Technol*. 2016; 78:514-522.
- [5] Foxboro 1999 [Access: 2017, 12 Januari]. Available from: <http://myweb.wit.edu/sandinic/Research/conductivity%20v%20concentration.pdf>
- [6] Judes, J., Kamaraj, V. Sol-Gel Preparation and Characterization of Ceria-Stabilized Zirkonium Minispheres. *J Sol-Gel Sci Technol*. 2009; 49:159-165.

- [7] Wang, G., Ma Jingtao, Gao Yong, Zhao Xingyu, Hao Shaochang, Deng Changsheng, Bin Liu. A Comparative Study of Small-Size Ceria-Zirconium Microspheres Fabricated by External and Internal Gelation, *J Sol-Gel Sci Technol.* 2016; 78:673-681.
- [8] Zaki, M.I., Hasan, MA., Al-Sagheer, FA., Pasupulety, L. In-Situ FTIR Spectra of Pyridine Adsorbed on  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  and  $\text{CeO}_2$ : General Considerations for the Identification of Acid Sites on Surfaces of Finely Divided Metal Oxides. *Colloids and Surfaces A-Physicochemical and Engineering Aspects.* 2001; 190(3), 261-274.
- [9] Hannink RHJ. Microstructural Development of Sub-Eutectoid Aged  $\text{MgO-ZrO}_2$  Alloys. *J Mater Sci.* 1983; 18(2): 457-470.
- [10] Machmudah, Siti. Preparation of Ceria-Zirconium Mixed Oxide by Hydrothermal Synthesis, *Modern Applied Science,* 2015; 9(7): 134-139.
- [11] Damyanova, S. Study of The Surface and Redox Properties of Ceria-Zirconium Oxides, *Applied CatalysisA: General.* 2008; 337(1): 86-96.
- [12] Hunt, R.D., Montgomery, F.C., and Collins, J.L. Treatment Techniques to Prevent Cracking of Amorphous Microspheres Made by Internal Gelation Process. *J Nuclear Materials.* 2010; 160-164.
- [13] Jiang K, Liu S, Xi W. Effect of High-Temperature Ageing on the Fracture Toughness of 40 mole % Ceria-Stabilized Zirconia. *J Am Ceram Soc.* 2015; 98(1):331-337.

## BIOGRAFI PENULIS



**Ariyani Kusuma Dewi**, lahir di Pemalang (Jawa Tengah), 24 November 1983. Menyelesaikan studi S1 Teknik Kimia di Universitas Diponegoro pada tahun 2005, dan S2 Teknik Kimia di Universitas Gajah Mada pada tahun 2014. Bekerja di BATAN mulai pada tahun 2008 di Yogyakarta dan menjadi peneliti di bidang fabrikasi bahan nuklir. Pengalaman menjadi pengajar dalam pelatihan pemagangan teknologi pembuatan kernel  $UO_2$  terlapis untuk penyiapan bahan bakar reaktor suhu tinggi. Mengikuti workshop HTGR Fuel Fabrication Technology dan HTGR Fuel and Fuel Cycle Technologies pada tahun 2016, Pelatihan Pemagangan Penentuan Fasa dan Analisis Kristalografi Zat Padat Menggunakan Alat Difraksi Sinar-X pada tahun 2017. Saat ini sedang menempuh program doctoral di University of Fukui Jepang dengan judul riset Advance in Estimation Methodology of TRISO Fuel Properties.



**Sri Rinanti Susilowati**, lahir di Cilacap, tanggal 17 Desember 1963. Pendidikan formal di Teknik Kimia Nuklir STTN BATAN dan memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada tahun 2005. Pengalaman di bidang penelitian sejak masuk BATAN tahun 1985 hingga sekarang dengan menekuni bidang analisis dan proses pembuatan bahan bakar nuklir. Kegiatan tersebut antara lain analisis fisis bahan nuklir dari pengendapan konsentrat hingga uranium dioksida murni nuklir, pembuatan bahan bakar RST bentuk bola dari tahun 2005 hingga sekarang. Sebagai pejabat fungsional Pranata Nuklir Ahli Madya tahun 2016 hingga sekarang.



**Meniek Rachmawati**, lahir di Yogyakarta tanggal 6 November 1957. Pendidikan formal di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia UGM memperoleh gelar Insinyur tahun 1984 dan Gelar Master of Philosophy (MPhil), Univ. of Bradford, United Kingdom 1988. Pengalaman di bidang penelitian dimulai sejak masuk BATAN tahun 1984 sampai 2018 menekuni penelitian di bidang pembuatan bahan bakar nuklir. Kegiatan tersebut antara lain pembuatan bahan bakar PHWR, Pembuatan Bahan Bakar Advanced PWR(CERMET), Pembuatan Bahan Bakar HTGR. Pengalaman memimpin penelitian: Sebagai Koordinator Riset tentang *Advanced PWR (CERMET) / PHWR (SGMP) Fuel*, Koordinator penelitian of *High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR) Fuel Fabrication Technology*. Sebagai pejabat fungsional peneliti, menduduki, jenjang Peneliti Ahli Madya.



**Sukarsono**, lahir di Yogyakarta tanggal 4 Februari 1954. Pendidikan formal di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia UGM memperoleh gelar Insinyur tahun 1981. Gelar Sarjana Utama dalam bidang Ilmu Teknik, Program Studi Teknik Kimia diperoleh dari Fakultas Pasca Sarjana UGM tahun 1987. Penelitian dimulai sejak masuk BATAN tahun 1980 sampai sekarang menekuni penelitian di bidang pemurnian bahan nuklir dan pembuatan bahan bakar nuklir. Kegiatan tersebut antara lain pemurnian uranium dari konsentrat uranium sampai diperoleh uranium dioksida murni derajat nuklir. Sebagai penanggung jawab Riset Kontrak dengan IAEA dengan judul Pembuatan  $ThO_2$  derajat nuklir dari konsentrat Thorium. Penelitian bidang bahan nuklir lainnya adalah pembuatan zirkon sponge dari pasir zirkon dan pengkayaan  $D_2O$  serta pembuatan bahan bakar RST bentuk bola yang dilakukan dari tahun 1997 sampai sekarang.



**Sarjono**, lahir di Deli Serdang 18 April 1967. Memperoleh gelar sarjana teknik dari Universitas Gadjah Mada Yogyakarta Fakultas Teknik Jurusan Teknik Nuklir pada tahun 1992, gelar magister diperoleh dari *Nuclear and Quantum Engineering - Korea Advanced Institute of Science and Technology* tahun 2005. Pengalaman di bidang penelitian diawali sejak masuk BATAN tahun 1997 sampai sekarang menekuni penelitian di bidang fabrikasi bahan bakar nuklir. Selama di BATAN pernah mengikuti MEXT *Nuclear Researchers Exchange Program di Research Institute of Nuclear Engineering* – Fukui University pada tahun 2013 dan saat ini menduduki jabatan fungsional Pranata Nuklir Muda.



**Kristanti Nurwidyaningrum**, lahir di Jakarta, 10 Juli 1987. Pendidikan formal dimulai dari SD Negeri Cipinang Melayu 04 Pagi, SLTP Negeri 109, SMA Negeri 61 Jakarta, melanjutkan kuliah di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM dan memperoleh gelar sarjana tahun 2010. Tahun 2016 menempuh pendidikan S2 di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM sampai sekarang. Pengalaman dalam penelitian dimulai sejak masuk BATAN pada tahun 2011 sampai sekarang menekuni penelitian dalam bidang fabrikasi bahan bakar nuklir dan menjabat sebagai Peneliti Pertama pada tahun 2016. Pengalaman dalam mengikuti proyek penelitian sebagai anggota peneliti dalam beberapa program penelitian PKPP dan Sinas dari Ristek.



**Dedy Husnurrofiq**, lahir di Jontlak (NTB) tanggal 23 Februari 1985. Pendidikan formal di Jurusan Tekno Kimia Nuklir Program Studi Tekno Kimia di STTN BATAN lulus tahun 2007. Pengalaman di bidang penelitian dimulai semenjak masuk sebagai karyawan BATAN tahun 2009 sampai sekarang dengan menekuni penelitian di bidang Pemurnian pasir zirkonium menjadi zirkonium derajat nuklir dan industri, pembuatan grafit berderajat nuklir dan pembuatan bahan bakar RST bentuk bola. Selain itu, pada tahun 2009 sampai 2012 ikut serta dalam pembuatan dokumen studi kelayakan pabrik irradiasi latex alam. Semenjak menjadi karyawan BATAN memiliki jabatan fungsional sebagai Pranata Nuklir Ahli.