

KARAKTER TERMAL SERBUK U-6Zr DAN U-10Zr SEBAGAI BAHAN BAKAR REAKTOR RISET

Masrukan K, Yanlianastuti, Sutri Indaryati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

e-mail: masrukan2006@yahoo.com

(Naskah diterima : 14-08-2014, Naskah disetujui: 19-09-2014)

ABSTRAK

KARAKTER TERMAL SERBUK U-6Zr DAN U-10Zr SEBAGAI BAHAN BAKAR REAKTOR RISET. Telah dilakukan percobaan untuk mengetahui karakter termal serbuk U-Zr menggunakan DTA dan DSC. Serbuk U-Zr dibuat melalui proses hidriding-dehidriding dengan variasi Zr sebesar 6% dan 10%. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari karakter termal dari serbuk U-6Zr dan U-10Zr seperti entalpi, temperatur lebur, reaksi kimia, dan kapasitas panas. Pengukuran entalpi dan temperatur lebur dilakukan dengan menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) pada temperatur 30-1000°C pada laju pemanasan 10°C/menit dalam media gas argon sedangkan pengukuran kapasitas panas dilakukan dengan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) pada temperatur antara 30 hingga 450°C. Hasil pengukuran sifat termal dengan DTA menunjukkan bahwa serbuk U-6Zr mengalami perubahan fasa melalui enam tahapan, sedangkan serbuk U-10Zr mengalami perubahan fasa melalui empat tahapan. Sementara itu, dari pengujian menggunakan DSC diperoleh hasil untuk serbuk U-6Zr mempunyai kapasitas panas sebesar 0,09 sampai dengan 0,21 J/g°C, sedangkan untuk serbuk U-10Zr mempunyai kapasitas panas 0,08 J/g°C hingga 0,14 J/g°C dimana keduanya diamati pada temperatur antara 35 hingga 95°C (pengukuran maksimum hingga 1000°C). Dari percobaan yang dilakukan disimpulkan bahwa paduan U-6Zr mempunyai sifat termal yang lebih baik dibandingkan paduan U-10Zr.

Kata kunci: karakter termal, serbuk U-Zr, DTA, DSC.

ABSTRACT

THERMAL CHARACTERISTICS OF POWDER U-6Zr AND U-10Zr AS A RESEARCH REACTOR FUEL. *It have been conducted an experiment to determine the characteristics of thermal of the U-Zr powder by using DTA and DSC. The U-Zr powder was made through a process hidriding-dehidriding with Zr content of 6% and 10%. The purpose of this research wis to study the thermal properties of U-6Zr and U-10Zr powder such as enthalpy, melting temperature, chemical reactions, and heat capacity. The U-Zr powder is made through a process hidriding-dehidriding with Zr content of 6% and 10%. Enthalpy and melting temperature measurements carried out using DTA at temperatures of 30-1000°C at a heating rate 10°C/menit in the media argon gas, while the measurements heat capacity by using Differential scanning calorimetry (DSC) at a temperature between 30°C until 450°C. The test results with the DTA showed that U-6Zr powder experiencing a change of phases through of six steps, while for U-10Zr powders change of phases through of four steps. Meanwhile, from the test by using the DSC equipment was found that result for U-6Zr powder has a heat capacity of 0.09 up to 0.21 J/g°C, and for the U-10Zr powder has heat capacity of 0,08 J/g°C hingga 0,14 J/g°C, where both powder were observed at temperature between 35°C up to 95°C (maximum testing until 1000°C). From the experiments conducted it can be concluded that the U-6Zr powder has better thermal properties than the U-10Zr powder.*

Keywords: *thermal characteristic, U-Zr powder, DTA, DSC.*

PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar nuklir untuk reaktor riset dilakukan dalam upaya untuk mendapatkan bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi. Sesuai dengan tugas dan fungsinya, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) hingga tahun 2014 mengembangkan bahan bakar paduan uranium molibdenum (UMo), uranium zirkonium (U-Zr) dan uranium nitrid (UN). Bahan bakar nuklir merupakan komponen utama beroperasinya reaktor nuklir, baik reaktor riset maupun reaktor daya. Reaktor riset pada awalnya menggunakan bahan bakar uranium pengkayaan tinggi (>90% ^{235}U), tetapi dengan adanya kekhawatiran yang dapat disalahgunakan untuk tujuan non damai, maka seluruh reaktor riset di dunia dianjurkan untuk mengganti bahan bakar dengan uranium pengkayaan rendah (<20% ^{235}U). Pada saat ini bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ yang mempunyai densitas uranium $4,8\text{g U/cm}^3$ dan berpengkayaan rendah merupakan hasil pengembangan para peneliti yang tergabung dalam program RERTR dan telah mendapatkan lisensi dari *US Nuclear Regulatory Commission* pada tahun 1988 [1,2].

Reaktor riset G.A. Siwabessy di Serpong pada saat ini menggunakan bahan bakar LEU jenis $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ yang mempunyai densitas lebih tinggi dibandingkan $\text{U}_3\text{O}_8\text{-Al}$. Namun, penggunaan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ mempunyai kelemahan yaitu kesulitan dalam pemisahan unsur Si saat pemungutan kembali uranium dari gagal dan limbah produksi $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Untuk mengatasi permasalahan tersebut Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) sedang mengembangkan beberapa bahan bakar diantaranya paduan U-Zr, U-Zr-Nb, U-Mo, U-Mo-Ti, serta U-N. Logam uranium murni pada dasarnya merupakan logam yang memiliki berat jenis tinggi, tetapi isotropic fasa γU selama iradiasi hanya stabil pada temperatur tinggi, sedangkan pada temperatur rendah struktur

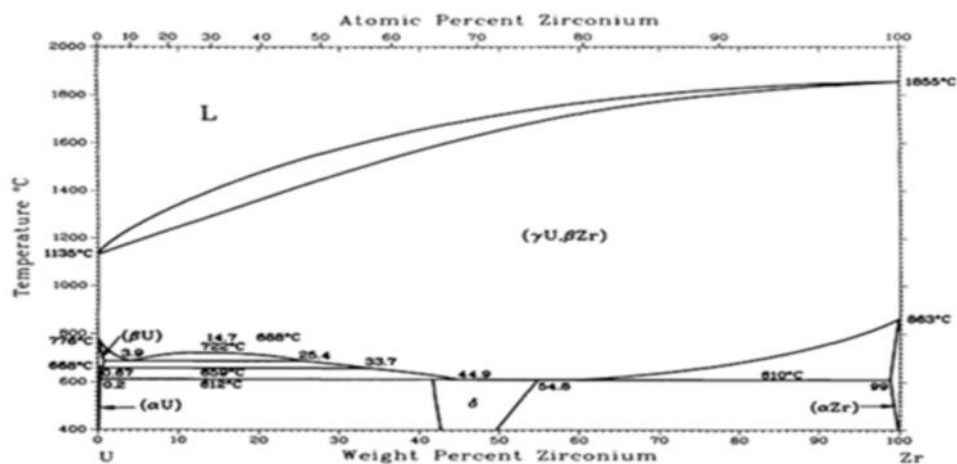
fasa U berpotensi mengalami *swelling*. Perubahan fasa ke γ (melalui fasa β) tidak dapat ditahan dengan *quenching* fasa U murni pada temperatur tinggi, tetapi pada rentang temperatur diatas dimana fasa β , δ dan γ menjadi stabil sehingga sebagai alternatifnya memerlukan penambahan bahan pepadu. Penambahan unsur pepadu ke dalam logam murni dengan tujuan antara lain^[3,4]: untuk mendapatkan ukuran butir yang halus, menaikkan sifat mekanik, sifat-sifat logam murninya sehingga mudah difabrikasi dengan logam lain, menaikkan ketahanan terhadap bahaya radiasi, serta memper-tahankan fasa beta atau gamma uranium pada temperatur kamar. Penelitian sebelumnya telah dicoba untuk membuat bahan bakar U-Zr dengan kandungan Zr berturut-turut 2,6, 10,14 dan 55% dalam bentuk ingot yang telah dikarakterisasi sifat-sifatnya diantaranya : sifat mekanik, fisik, mikro-struktur dan termal^[5]. Untuk dapat dijadikan bahan bakar, ingot U-Zr harus dibuat serbuk. Untuk membuat serbuk dari ingot U-Zr yang bersifat ulet dapat dilakukan dengan salah satu cara yaitu *hydriding dehydriding*. Dalam proses *hydriding dehydriding*, ingot U-Zr dimasukkan ke dalam wadah sampel/tabung *retort* yang terdapat di dalam peralatan *hydriding dehydriding* dan dialiri gas hidrogen sambil dipanaskan hingga temperatur 450°C sehingga membentuk hidrida ZrH_x . Terbentuknya hidrida ZrH_x akan menjadikan ingot yang semula keras dan ulet menjadi rapuh. Setelah terbentuk hidrida ZrH_x yang rapuh selanjutnya hidrogen yang terikat sebagai hidrida dilepaskan dengan cara dipanaskan kembali (*dehydriding*) untuk melepaskan hidrogen dari hidrida sehingga yang tersisa hanya serbuk U-Zr. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar maka paduan U-Zr harus memenuhi sifat-sifat yang berkaitan dengan bahan bakar diantaranya sifat termal yang meliputi entalpi, temperatur lebur dan reaksi kimia. Sifat termal tersebut akan mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar

selama digunakan di reaktor. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sifat termal serbuk U-Zr hasil proses *hydriding dehydriding* yang akan digunakan sebagai bahan bakar.

Paduan U-Zr merupakan paduan yang terbentuk berdasarkan reaksi *eutectic* seperti diagram fasa U-Zr pada Gambar 1. Gambar 1 memperlihatkan bahwa kelarutan Zr dalam U terbatas yaitu sebesar 0,4; 0,26 dan 0,17% atom masing-masing pada temperatur 660, 630, dan 550°C. Mengacu dari diagram fasa pada Gambar 1 terdapat beberapa fasa yang terbentuk dari reaksi atau transformasi fasa antara logam U dan

Zr yang tergantung dari komposisi dan temperturnya. Fasa-fasa yang dapat terbentuk yaitu : ^[6]

1. Fasa α -U, memiliki struktur kristal *hexagonal*
2. Fasa β -U, memiliki struktur kristal *complex hexagonal*
3. Fasa (γ -U, γ -Zr,) , memiliki struktur kristal *body centered cubic*
4. Fasa δ , memiliki struktur kristal hexagonal , dan
5. Fasa α -Zr, memiliki struktur kristal *hexagonal closed packed* (HCP)



Gambar 1. Diagram fasa U-Zr ^[7]

Apabila dilihat lebih terinci yang didasarkan pada diagram fasa pada Gambar 1, transformasi fasa yang terjadi antara logam U dan Zr meng-hasilkan beberapa fasa sebagai berikut :

1. Monotectoid , yaitu transformasi fasa (γ -U, γ -Zr,) menjadi $\beta + \gamma$ Zr. Reaksi tersebut terjadi pada komposisi 6% berat Zr dan pada temperatur 693°C. Garis monotectoid terjadi pada komposisi 0,9% berat Zr hingga 33 % berat.

2. Reaksi eutectoid 1, yaitu transformasi fasa dari β menjadi α -U dan γ . Reaksi tersebut terjadi pada komposisi 0,67 % berat Zr dan temperatur 662oC. Garis eutectoid 1 terjadi pada komposisi 0,2% hingga 38,5% berat.

3. Reaksi peritectoid, yaitu reaksi perubahan fasa dari α -U + γ menjadi δ . Reaksi ini terjadi pada temperatur 620°C dan pada komposisi 39% berat Zr. Garis peritectoid terjadi pada komposisi berat 0,2 % berat Zr sampai 42,5 % Zr.

4. Reaksi eutectoid 2, yaitu reaksi perubahan fasa dari γ menjadi α Zr + δ . Reaksi ini terjadi pada temperatur 607°C dan pada komposisi 55% berat Zr. Garis eutectoid 2 terjadi pada komposisi 51% berat Zr sampai 99,5% Zr. Prinsip dasar pengukuran termal adalah pengamatan pengaruh panas terhadap perubahan fisik dari bahan yang diukur sebagai fungsi temperatur dan waktu. Pengukuran entalpi bertujuan untuk memperkirakan besaran panas yang dibutuhkan atau yang

dilepaskan dari bahan yang diuji ke air pendingin melalui kelongsong. Besaran panas yang dibutuhkan atau dilepaskan diukur sebagai besaran panas jenis (C_p) dalam satuan kilo kalori (k cal) atau satu kalori (cal). Setiap senyawa mempunyai perbedaan jumlah panas yang digunakan untuk menaikkan temperatur dalam jumlah massa tertentu.

Lingkup penelitian ini dibatasi pada percobaan untuk mengetahui karakteristik sifat termal yaitu entalpi, temperatur lebur dan reaksi kimia menggunakan *Differential Thermal Analyzer* (DTA) pada temperatur antara 30-1000°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dalam media gas argon, sedangkan kapasitas panas menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dengan temperatur 30-450°C dengan laju pemanasan 10°C/menit terhadap serbuk U-Zr yang dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat termal serbuk U-Zr hasil proses *hidriding* dan *dehidriding* yang akan digunakan dalam pembuatan inti elemen bakar. Hipotesa yang diajukan adalah perubahan unsur pepadu yaitu Zr akan mempengaruhi sifat termal yang meliputi entalpi, temperatur lebur dan reaksi kimia.

TATA KERJA

Dibuat serbuk U-Zr dari ingot U-Zr dengan kandungan Zr sebesar 6% dan 10% melalui cara hidridingdehidriding. Serbuk yang diperoleh dari proses hidriding dehidriding selanjutnya diuji dengan menggunakan peralatan *Differential Thermal Analyzer* (DTA) dan *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) merk SETARAM 92 yang berada di PTBN. Dalam percobaan dengan menggunakan DTA, serbuk U-Zr dengan kandungan Zr 6% ditimbang sebanyak 151,8 mg, kemudian dimasukkan kedalam krusibel alumina dan diletakkan diatas chamber DTA rod, divakum hingga tekanan 10^{-1} bar. Setelah vakum tercapai kemudian dialiri dengan gas argon UHP sampai tekanan

mencapai 2,5 bar. Langkah selanjutnya memanaskan DTA rod dari temperatur 30 hingga 1000°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Dengan cara yang sama dilakukan terhadap serbuk U-Zr dengan kandungan 10%Zr sebesar 164,9 g. Hasil percobaan berupa termogram DTA luasan puncak dan dievaluasi untuk mengetahui besaran entalpi dan perubahan aliran panas yang menunjukkan kestabilan panas, perubahan fasa dan temperatur reaksi termik. Untuk pengukuran dengan menggunakan DSC, serbuk U-10Zr seberat 93,8mg, dimasukkan kedalam krusibel alumina. Setiap pengukuran disiapkan tiga (3) buah krusibel, masing-masing mempunyai kegunaan sebagai berikut : krusibel pertama digunakan sebagai blanko, krusibel kedua untuk wadah standar Al_2O_3 dan krusibel ketiga sebagai wadah sampel. Pelaksanaan pengukuran dilakukan dalam tiga tahap yakni : (a) tahap pertama, pengukuran terhadap krusibel aluminium kosong yang dianggap sebagai data blanko, (b) tahap kedua, pengukuran terhadap krusibel kosong dan yang berisi sampel standar Al_2O_3 sebagai pembandingseberat 150 mg, dan (c) tahap ketiga pengukuran krusibel kosong dengan sampel. Setiap krusibel dimasukkan kedalam chamber DSC pada kondisi operasi temperatur antara 30-450°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dalam media gas argon. Dengan cara yang sama dilakukan pengukuran serbuk U-10Zr dengan menimbang serbuk 138,7 mg. Hasil pengukuran berupa termo-gram DSC yang merupakan korelasi antara temperatur pengukuran terhadap kapasitas panas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

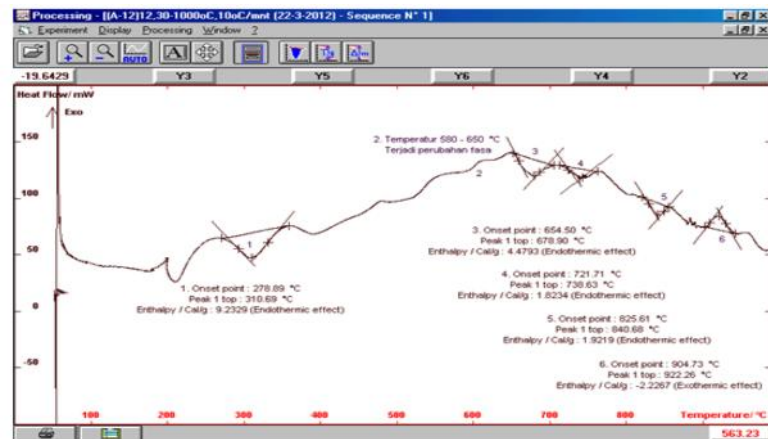
Analisis entalpi dan temperatur reaksi

Gambar 2 merupakan termogram DTA specimen serbuk U-Zr dengan variasi kandungan Zr sebesar 6% dan 10% memperlihatkan pembentukan puncak-puncak endotermik dan eksotermik. Hasil pengukuran berupa besaran entalpi,

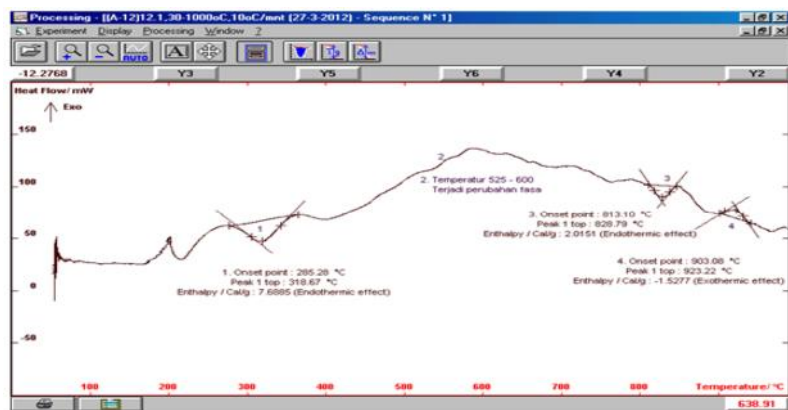
temperatur lebur dan pembentukan senyawa dengan adanya perubahan aliran panas. Serbuk U-6Zr mengalami reaksi termokimia sebanyak enam tahapan yaitu : tahap pertama pada temperatur 278,9-310,7°C terjadi reaksi endotermik dengan membutuhkan panas sebesar 9,2cal/g, tahap kedua pada temperatur 580,0-650°C terjadi perubahan fasa tetapi tidak terbentuk reaksi kimia, tahap ketiga pada temperatur 654,5-678,9°C terjadi reaksi endotermik dengan membutuhkan panas 4,5 cal/g, tahap keempat reaksi endotermik yang terjadi pada temperatur 721,7-738,6°C dengan membutuhkan panas 1,8 cal/g, tahap kelima terjadi reaksi endotermik pada temperatur 825,6-840,7°C dengan membutuhkan panas 1,9 cal/g, dan pada tahap keenam terjadi reaksi eksotermik pada temperatur 904,7-922,3°C dengan melepaskan panas -2,2 cal/g. Apabila dilihat dari diagram fasa antara U dengan Zr terlihat terjadi perubahan fasa melalui empat tahap yaitu pada tahapan pertama terjadi pada temperatur antara 580°C hingga 662°C terjadi perubahan fasa dari $\alpha+\delta_1$ menjadi $\alpha+\gamma$ Zr, tahapan kedua terjadi pada temperatur antara 662°C hingga 695°C dimana terjadi perubahan fasa dari $\alpha+\gamma$ Zr menjadi $\beta+\gamma$ Zr. Tahapan berikutnya (ketiga), terjadi pada temperatur antara 695°C hingga 770°C yang mengalami perubahan fasa dari $\beta+\gamma$ Zr menjadi $\beta+\gamma$, dan pada tahapan keempat terjadi temperatur antara 770 °C hingga 1000 °C dan mengalami perubahan fasa dari $\beta+\gamma$ menjadi γ . Untuk serbuk U-10Zr (Gambar 3), terjadi reaksi termokimia sebanyak empat tahap yaitu tahap pertama reaksi endotermik pada temperatur 285,3-318,7°C yang membutuhkan panas sebesar 7,7cal/g, tahap kedua terjadi pada temperatur 525,0 – 6000°C yang mengalami perubahan fasa tetapi tidak terbentuk reaksi termokimia, tahap ketiga pada temperatur 813,1-828,8°C membentuk reaksi endotermik yang membutuhkan panas sebesar

2,0 cal/g dan pada tahap keempat terbentuk reaksi eksotermik yang terjadi pada temperatur 903,1-923,2°C yang membutuhkan panas sebesar 1,5 cal/g. Apabila dilihat pada diagram fasa U-Zr seperti pada Gambar1, paduan U-6Zr mengalami perubahan fasa melalui empat tahapan sebagai berikut: pada tahap pertama, terjadi pada temperatur antara 580°C hingga 662°C terjadi perubahan fasa dari $\alpha+\delta_1$ menjadi $\alpha+\gamma$ Zr, tahapan kedua terjadi pada temperatur antara 662°C hingga 695 °C dimana terjadi perubahan fasa dari $\alpha+\gamma$ Zr menjadi $\beta+\gamma$ Zr. Tahapan berikutnya (ketiga), terjadi pada temperatur antara 695 °C hingga 770°C yang mengalami perubahan fasa dari $\beta+\gamma$ Zr menjadi $\beta+\gamma$, dan pada tahapan keempat terjadi temperatur antara 770°C hingga 1000°C dan mengalami perubahan fasa dari $\beta+\gamma$ menjadi γ . Dari data percobaan dan teori terlihat adanya perbedaan temperatur transformasi fasa dimana dalam percobaan mempunyai temperatur transformasi fasa lebih tinggi daripada teori. Hal ini disebabkan sampel uji mengandung impuritas yang cukup tinggi, dimana impuritas tersebut akan mempengaruhi proses pemanasan sehingga mempengaruhi pula temperatur transformasi fasa. Namun, apabila dibandingkan antara serbuk U-6Zr dan U-10Zr terlihat bahwa serbuk U-10Zr membentuk fasa γ Zr dan γ yang lebih banyak dibandingkan U-6Zr. Hal ini disebabkan jumlah unsur Zr yang ada pada serbuk U-10Zr lebih besar dibandingkan U-6Zr sehingga fasa γ Zr dan γ yang terbentuk menjadi lebih banyak.

Dari hasil analisis besaran entalpi dan reaksi kimia diatas dapat dikatakan bahwa kedua serbuk U-6Zr dan U-10Zr mengalami perubahan fasa dengan membentuk fasa yang sama jenisnya tetapi berbeda jumlah fasa yang terbentuk dan jumlah tahapan reaksi.



Gambar 2. Termogram DTA U-6Zr



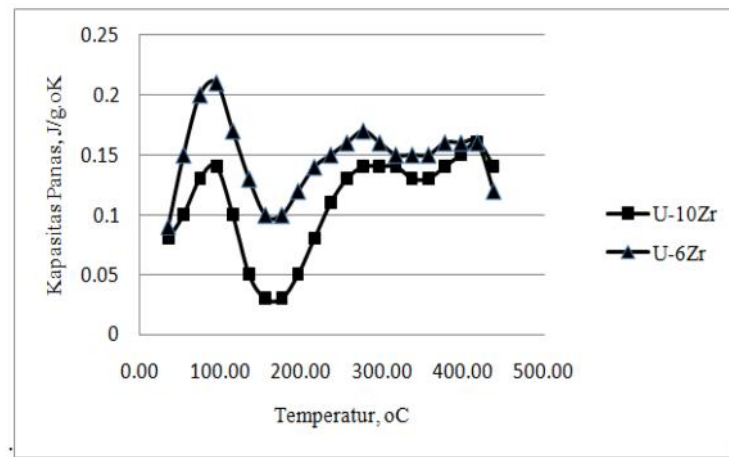
Gambar 3. Termogram DTA U-10Zr

Analisis kapasitas panas

Analisis sifat termal berupa kapasitas panas dari serbuk U-6Zr dan U-10Zr dilakukan dengan menggunakan alat DSC. Peralatan DSC dioperasikan pada temperatur 30 sampai dengan 450°C dengan laju alir 10°C/menit. Hasil analisis untuk kedua serbuk ditunjukkan dalam bentuk gambar dan tabel. Gambar 4 memperlihatkan bahwa serbuk U-6Zr mempunyai rentang nilai kapasitas panas dari 0,09 hingga 0,21J/g^oK (dari temperatur

35,87°C sampai dengan 95°C), sedangkan nilai kapasitas panas tertinggi sebesar 0,21J/g.K yang dicapai pada temperatur 95,27 °K.

Pada rentang temperatur yang sama, untuk U-10Zr mempunyai nilai kapasitas panas antara 0,08J/gK hingga 0,14J/g^oK. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk U-6Zr mempunyai rentang nilai kapasitas panas lebih besar dibandingkan U-10Zr.



Gambar 4. Kurva kapasitas panas U-6Zr dan U-10Zr

Apabila diamati, secara keseluruhan nilai kapasitas panas serbuk U-6Zr lebih tinggi dibandingkan serbuk U-10Zr. Hasil tersebut bila dibandingkan dengan hasil pengukuran panas jenis ingot U-6Zr dan U-10Zr pada penelitian sebelumnya, terlihat bahwa ingot U-10Zr mempunyai kapasitas panas yang lebih besar dari U-6Zr. Penelitian sebelumnya menghasilkan nilai kapasitas panas ingot U-6Zr sebesar 0,01 J/g.K sedangkan ingot U-10Zr sebesar 0,08 yang diukur pada temperatur 95°C^[8]. Hal ini diduga disebabkan sampel uji dalam keadaan serbuk, yang mana antara serbuk U-6Zr dengan U-10Zr mempunyai ukuran berbeda. Diduga serbuk U-6Zr mempunyai ukuran lebih besar sehingga untuk menaikkan temperatur sebesar satu derajat dibutuhkan panas yang lebih besar dibandingkan serbuk U-10 Zr. Oleh karena itu hasil pengukuran menghasilkan kapasitas panas U-6Zr lebih besar dari U-10Zr. Apabila dilihat dari nilai kapasitas panas U dan Zr, secara teoritis maka serbuk U-6Zr akan mempunyai kapasitas panas lebih kecil dibandingkan U-10Zr. Nilai kapasitas panas U adalah sebesar 0,120J/g.K dan Zr sebesar 0,278J/g.K^[8,9,10]. Apabila diperhatikan pada Gambar 3, terlihat kedua serbuk U-6Zr dan U-10Zr mempunyai kecenderungan perubahan kapasitas yang sama yaitu terjadi kenaikan kapasitas panas hingga 100°C selanjutnya turun hingga temperature 200°C. Hal ini disebabkan hingga temperatur 100°C panas

yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur setiap derajat dan setiap satuan masa cukup tinggi, kemudian setelah mencapai temperatur 100°C panas yang dibutuhkan cenderung kecil. Hingga temperatur 100°C atom-atom dari keadaan semula pada temperatur kamar membutuhkan panas yang cukup besar hingga temperature 100°C untuk melakukan vibrasi, namun setelah itu mencapai temperatur 100°C panas yang dibutuhkan menurun. Nilai kapasitas panas suatu bahan akan menentukan jumlah panas yang dapat dipindahkan ke sekeliling. Semakin besar nilai kapasitas panas suatu benda maka semakin besar panas yang dapat dipindahkan oleh benda tersebut ke sekeliling. Dalam bahan bakar nuklir diperlukan nilai kapasitas panas yang tinggi agar panas yang dapat dipindahkan ke sekeliling sebanyak-banyaknya. Dilihat dari kapasitas panasnya, serbuk U-6Zr lebih baik dibandingkan serbuk U-10Zr karena mempunyai nilai kapasitas panas yang lebih besar.

SIMPULAN

Dari hasil percobaan serbuk U-6Zr dan U-10Zr dapat disimpulkan bahwa perubahan unsur Zr di dalam serbuk paduan U-Zr mempengaruhi sifat termalnya, dalam hal ini adalah besaran entalpi, temperatur lebur, pembentukan senyawa, dan kapasitas panas. Hasil analisis menggunakan DTA terhadap

serbuk U-6Zr menghasilkan reaksi termo kimia dan jumlah fasa lebih banyak (enam tahapan) bila dibandingkan dengan serbuk U-10Zr, tetapi menghasilkan jenis fasa yang sama. Perubahan fasa yang terjadi dimulai dari $\alpha+\delta 1$ menjadi $\alpha+\gamma Zr$, tahapan kedua dari $\alpha+\gamma Zr$ menjadi $\beta+\gamma Zr$, tahapan ketiga perubahan fasa dari $\beta+\gamma Zr$ menjadi $\beta+\gamma$, dan tahapan keempat $\beta+\gamma$ menjadi γ . Sementara itu, hasil pengujian kapasitas panas dengan menggunakan peralatan DSC diperoleh bahwa serbuk U-6Zr mempunyai nilai kapasitas panas yang lebih besar dibandingkan dengan U-10Zr. Pada pengukuran kapasitas panas dari 35 hingga 95°C diperoleh kapasitas panas dari 0,09 hingga 0,21 J/g.K untuk serbuk U-6Zr, sedangkan nilai kapasitas untuk U-10Zr mempunyai nilai kapasitas panas antara 0,08 J/g.K hingga 0,14 J/g.K. Memperhatikan hasil pengujian kedua serbuk, serbuk U-6Zr mempunyai sifat termal yang lebih baik dari serbuk U-10Zr

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Supardjo, (2011). Pembuatan Ingot Paduan U-7Mo-xZr Dengan Menggunakan Teknik Peleburan dan Karakterisasinya, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania Vol 17.3. ISSN 0852-4777, Oktober 011, PTBN-Serpong.
- [2] K. Boning, w Petry, (2009), *Test Irradiations Of Full-Sized U₃Si₂-Al Fuel Plates Up To Very High Fission Densities*, Journal of Nuclear Materials, Volume 383, Issue 3, January 2009, Pages 254–263.
- [3] Masrukan K, Tri Yulianto, dan Sungkono, (2010), Pengaruh Unsur Nb Pada Bahan Bakar Paduan U-Zr-Nb Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Mikrostruktur, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar “Urania”, Vol. 16 No. 3, Juli 2010. ISSN 0852-4777. Akreditasi No.595/AU3/P2MI-LIPI/03/2015. Hal. 116.
- [4] Jong Man Park, Ho Jin Ryu, Don Bae Lee, Chang Kyu Kim, G.L Hofman, (2008), *Effect of Si and Zr On The Interdiffusion of U-Mo Alloy and Al*, Journal Of Nuclear Material, Volume 374, Issue 3, 15 March 2008, Pages 422–430.
- [5] Masrukan, Agung Kadaryono, (2010), Pengaruh Proseses *Quenching* Terhadap Laju Korosi Bahan Bakar U-Zr, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol 5 No 2, Juni 2009. ISSN : 1907-2635. Akreditasi : 82/Akred-LIPI/P2MBI/5/2007.
- [6] Chandra Bhanu, R Keswani, G .J. Prasad, H S Kamat, (2009), *Phase Transformations in U-2 wt% Zr Alloy*, Journal of Alloys and Compounds, Volume 471, 552.
- [7] Ivanov O S. (1983). *Phase Diagrams of Uranium Alloys*. New Delhi : Amerind Publishing Co, PVT, Ltd. Hlm. 8-11, 55.
- [8] Aslina, Masrukan, M. Husna al Hasa, (2007). Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Termal Paduan U-Zr Dengan Variasi Kandungan Zr, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania, Vol 13 No. 3. ISSN : 0852-4777. Akreditasi No. 71/Akreditasi-LIPI/P2MBI/-5/-2007. Hal. 125-135.
- [9] Lopez, Denise Adorno, Guisard Restivo, Thomas Augusto,(2013), Mechanical and Thermal Behaviour of U-Mo and U-Nb-Zr Alloys, Journal of Nuclear Materials Volume 440, Issue 1-3, p. 304-309.
- [10]. <http://www.engineeringtoolbox.com/specific-heat-metals-d.152.html>. Download tgl.30-April 2013.

