

---

## PENENTUAN SIFAT *THERMAL* PADUAN U-Zr MENGGUNAKAN *DIFFERENTIAL THERMAL ANALYZER*

Yanlinastuti, Sutri Indaryati  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

### ABSTRAK

**PENENTUAN SIFAT *THERMAL* PADUAN U-Zr MENGGUNAKAN *DIFFERENTIAL THERMAL ANALYZER*.** Telah dilakukan pengukuran sifat termal logam Uranium, Zirkonium dan paduannya menggunakan alat *Differential Thermal Analyzer (DTA)*. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik termal logam Uranium, logam Zirkonium dan paduan Uranium dengan logam Zr 10% dan Zr 14%. Percobaan dilakukan pada temperatur program 30-1000°C dengan laju pemanasan 5°C/menit. Hasil analisis menunjukkan bahwa logam Uranium terjadi reaksi termokimia endotermik dan mengalami perubahan fasa pada temperatur 667,73 °C dengan panas yang dibutuhkan 2,8018 kal/g; 773,40 °C besaran panas yang dibutuhkan 3,5758 kal/g dan 1126,07 °C membutuhkan panas sebesar 2,9695 kal/g. Logam Zr di bawah temperatur 662,84 °C mengalami kenaikan aliran panas dan di atas temperatur 700 °C terjadi penurunan aliran panas, sedangkan untuk Uranium dengan logam Zr 10 % terjadi reaksi termokimia endotermik dan mengalami perubahan fasa pada temperatur 695,09 °C dengan besaran panas yang dibutuhkan 1,2287 kal/g; 790,76 °C yang membutuhkan panas 5,3586 kal/g dan 1249,58 °C dengan panas yang dibutuhkan 0,871 kal/g. Paduan Uranium dengan logam Zr 14 % terjadi reaksi termokimia endotermik dan mengalami perubahan fasa pada temperatur 692,42 °C membutuhkan panas sekitar 1,1863 kal/g; 791,55 °C dengan besaran panas yang dibutuhkan 8,0885 kal/g dan 1195,98 °C yang membutuhkan panas 0,0391 kal/g. Hal ini bila dilihat secara umum untuk sifat termalnya terhadap pemanasan dengan naiknya temperatur pemanasan hingga 600°C terjadi kestabilan panas yang cukup baik sehingga dapat dipelajari lebih lanjut untuk digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset.

Kata kunci : *Differential Thermal Analyzer*, Uranium, Zirkonium dan Paduan U-Zr.

### PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar baru untuk reaktor riset terus dilakukan untuk pengganti jenis bahan bakar yang sudah ada. Pengembangan bahan bakar baru didasarkan pada densitasnya, apabila densitas bahan bakar lebih tinggi, maka jumlah Uranium dapat dimuat kedalam bahan bakar persatuan volume menjadi lebih besar. Pada saat ini reaktor G.A Siwabessy menggunakan bahan bakar jenis  $U_3Si_2$ -Al yang mempunyai densitas lebih tinggi dari bahan bakar  $U_3O_8$ -Al. Penggunaan bahan bakar  $U_3Si_2$ -Al mengalami kendala yaitu sulitnya memisahkan Si dalam limbah hasil proses pembuatan bahan bakar tersebut. Oleh karena itu perlu mencari bahan bakar pengganti misalnya dari bahan bakar U-Mo, U-Zr, U-Zr-Nb dan lain-lain. Kendala yang dihadapi dari

paduan U-Mo tersebut adalah sifat keuletannya yang tinggi sehingga sulit untuk dibuat dalam bentuk serbuk. Karena kendala tersebut, maka perlu upaya mencari bahan bakar lain yang dapat mengganti bahan bakar yang ada sekarang.<sup>(1)</sup>

Uranium-Zirkonium (U-Zr) merupakan bahan bakar nuklir logam yang dapat digunakan di Reaktor TRIGA dan paduan U-Zr Al dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk membuat elemen bakar nuklir reaktor riset. Keberadaan Zirkonium dalam bahan bakar dapat mempengaruhi fase transisi temperatur di dalam bahan bakar tersebut. Zirkonium mempunyai sifat mekanis dan fisis yang lebih baik dibandingkan bahan lainnya terutama dalam daya serap neutron termalnya yang sangat rendah, sehingga tidak mengurangi neutron termal yang dibutuhkan untuk reaksi fisi yang terjadi didalam reaktor nuklir<sup>(2)</sup>. Tujuan untuk mengetahui sifat termal tersebut merupakan persyaratan awal yang harus diketahui dalam mendesain bahan bakar untuk menunjang keselamatan operasi reaktor terutama dalam hal perhitungan pemindahan panas di dalam teras reaktor.

Pada percobaan ini akan dianalisis sifat termal dari paduan Zirkonium terhadap bahan bakar, penambahan logam Zr ke dalam bahan bakar diduga akan merubah karakteristik atau sifat dari paduan U-Zr yang terjadi misalnya perubahan sifat mekanik, mikrostruktur dan termal. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan logam Zr sehingga merubah struktur kristal logam Uranium semula. Percobaan dilakukan menggunakan alat DTA pada kondisi operasi dengan temperatur 30 °C sampai 1000 °C dengan laju pemanasan 5 °C/menit.

Prinsip dasar analisis termal adalah pengamatan pengaruh panas terhadap perubahan fisik dari paduan U-Zr yang diukur sebagai fungsi temperatur atau waktu.<sup>(3)</sup> Sifat termal yang diamati adalah temperatur lebur, perubahan fasa dan entalpi dengan temperatur 30-1000°C dengan laju pemanasan 5 °C/menit. Hasil analisis DTA berupa termogram puncak endotermik atau eksotermik berupa aliran panas dievaluasi dengan temperatur mulai terbentuknya puncak tersebut disebut *onset temperatur* dan titik akhir terbentuknya puncak tersebut disebut *top temperatur* yang menunjukkan besarnya temperatur reaksi. Sedangkan luas puncak yang terbentuk menunjukkan entalpi yang dibutuhkan atau dilepaskan oleh bahan.

## **METODOLOGI**

### **Bahan yang digunakan adalah**

- Logam Uranium, logam Zirkonium 99,95%, paduan logam U-Zr 10% dan paduan logam U-Zr 14%
- Gas Argon UHP 99,99%

### **Peralatan yang digunakan**

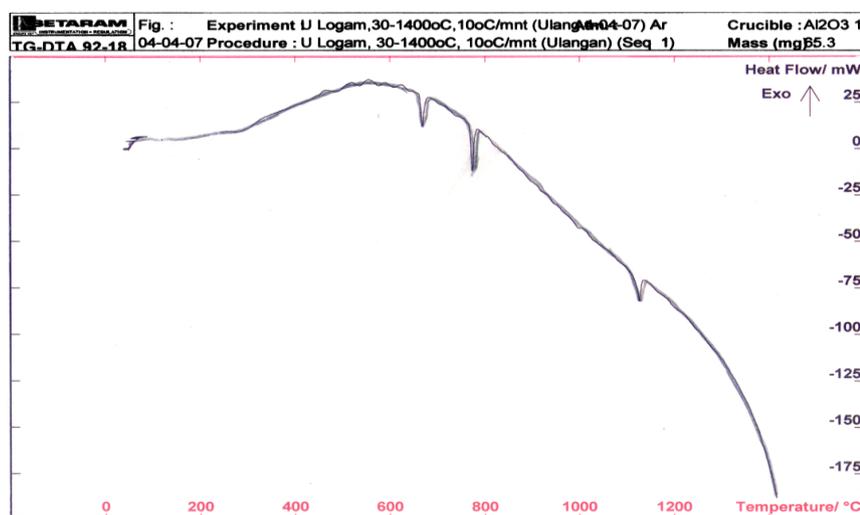
1. TG-DTA 92 Merk SETARAM(4)
2. Timbangan elektronik

## Cara Kerja

Sampel logam Uranium disiapkan, kemudian ditimbang dengan berat 55,3 mg, setelah itu dimasukkan ke dalam krusibel dan selanjutnya dimasukkan ke dalam *chamber* DTA rod untuk divakum sampai tekanan  $10^{-2}$  bar. Setelah kevakuman tercapai dialirkan gas Argon UHP dengan tekanan 2,5 bar, kemudian DTA *rod* dipanaskan pada temperatur 30°C sampai 1000°C dengan laju pemanasan 5 °C/menit. Hasil analisis berupa termogram DTA dievaluasi untuk mengetahui temperatur lebur, entalpi dan perubahan fasa. Dengan cara yang sama akan dilakukan pengujian untuk logam Zr, paduan U-Zr 10% dan paduan U-Zr 14% hingga diperoleh karakteristik termal dari masing-masing sampel uji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

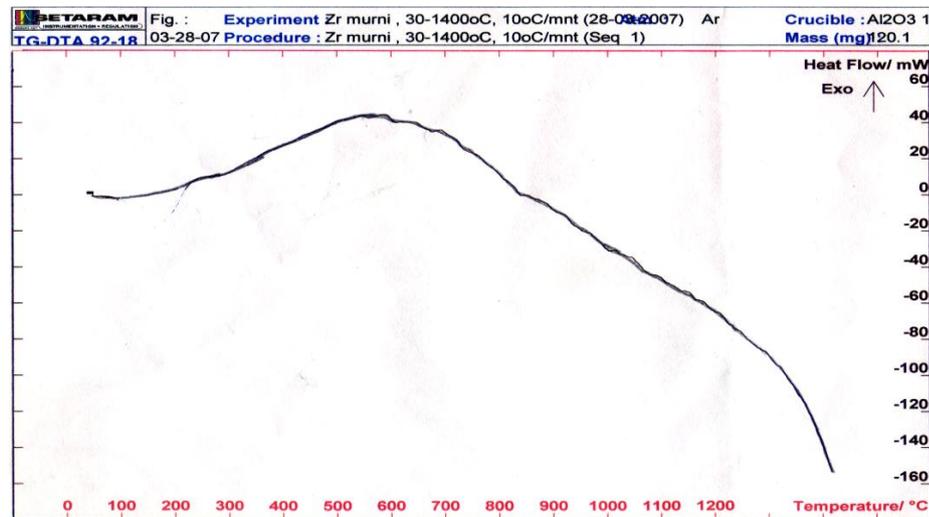
Analisis termal yang dilakukan dengan alat DTA terhadap logam Uranium murni diperoleh hasil bahwa Uranium stabil terhadap panas pada temperatur 661,93 °C, hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran berupa termogram DTA yang ditunjukkan pada Gambar-1. Di bawah temperatur tersebut tidak terlihat adanya perubahan aliran panas. Sedangkan di atas temperatur tersebut logam Uranium mengalami perubahan fasa  $\alpha$  menjadi fasa  $\beta$  dengan terbentuknya puncak endotermik pada temperatur 661,93 °C sampai 667,73°C dengan membutuhkan panas 2,8018 kal/g, pada temperatur 767,49 hingga 773,40°C mengalami perubahan fasa  $\beta$  menjadi fasa  $\gamma$  dengan besaran entalpi 3,5758 kal/g dan pada suhu 1117,46 sampai 1126,07°C mengalami peleburan menjadi cair dengan entalpi yang dibutuhkan sebesar 2,9695 kal/g, hal ini menunjukkan bahwa logam Uranium tersebut mengalami peleburan sehingga menjadi cair seperti yang terlihat pada Tabel-1.



Gambar-1: Termogram DTA Logam Uranium

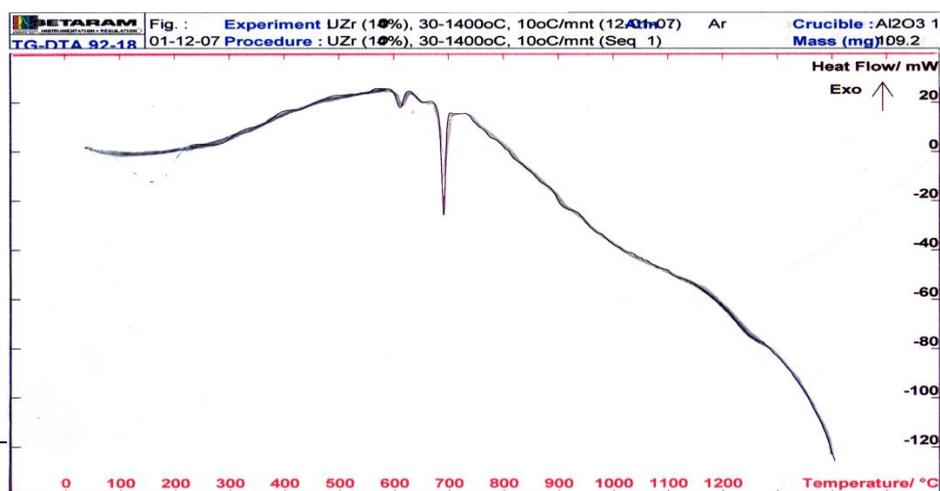
Sedangkan dari termogram DTA yang terlihat pada Gambar-2 diketahui bahwa logam Zr tidak mengalami fenomena reaksi termokimia ditunjukkan dengan tidak adanya

perubahan *base line heat flow* dari logam Zr tersebut. Pada termogram DTA tersebut terjadi peningkatan aliran panas hingga temperatur 645°C, namun mulai temperatur 700°C terjadi penurunan aliran panas seperti pada Tabel-1.



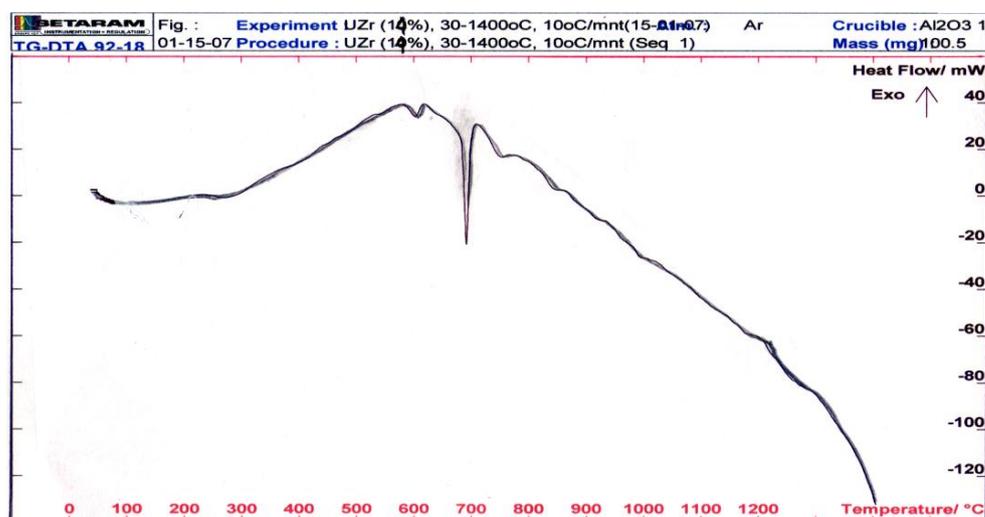
Gambar-2: Termogram DTA Zirkonium

Pengujian termal untuk sampel U-Zr 10 % dan U-Zr14 % yang ditunjukkan pada Gambar-3 dan Gambar-4, terlihat hingga temperatur 600 °C kestabilan panas cukup baik. Hal ini ditunjukkan dari bentuk kurva temperatur pemanasan terhadap aliran panas dimana terlihat bentuk kurva tidak terjadi perubahan bentuk secara jelas pada kenaikan temperatur pemanasan terhadap aliran panas. Hal yang sama juga dapat dilihat pada pengujian untuk paduan U-Zr 14% yang terlihat pada Gambar-4. Hasil analisis tersebut sesuai dengan diagram fasa yang artinya tidak terjadi perubahan fasa terhadap sampel tersebut, dengan demikian paduan U-Zr dapat digunakan untuk reaktor riset yang bekerja pada temperatur 120 °C



Gambar-3: Termogram DTA UZr 10%

Paduan U-Zr dengan variasi kandungan 10% dan 14% berat, masih stabil di bawah temperatur 662°C, namun di atas temperatur 662°C paduan U-Zr tersebut telah mengalami perubahan fasa. Paduan U-Zr dengan kandungan 10% Zr mengalami reaksi termokimia endotermik pada temperatur 677,63°C hingga 695,09°C dengan panas yang dibutuhkan sebesar 1,2287 kal/g mengalami perubahan fasa  $\alpha$  menjadi  $\beta$ . Pada temperatur 782,42°C- 790,76°C terjadi dengan membutuhkan panas sebesar 5,3586 kal/g mengalami perubahan fasa  $\beta$  menjadi  $\gamma$ . Pada temperatur 900°C sampai 1000°C mengalami peleburan pada temperatur 1150,63 °C sampai dengan mencair pada temperatur 1115,29 °C hingga 1249,58 °C dengan panas yang dibutuhkan 0,871 kal/g mengalami perubahan fasa  $\gamma$  menjadi ( $\gamma$  + cair).



Gambar-4: Termogram DTA UZr 14%

Dari termogram DTA untuk paduan U-Zr dengan kandungan 14 % berat Zr menunjukkan bahwa pada temperatur 687,37°C hingga 692,42°C dengan jumlah panas yang dibutuhkan sebesar 1,1863 kal/g mengalami perubahan fasa  $\alpha$  menjadi  $\beta$ . Pada temperatur 782,87°C hingga 791,55 °C terjadi perubahan reaksi termokimia dengan panas yang dibutuhkan sebesar 8,0885 kal/g yang mengalami perubahan fasa  $\beta$  menjadi  $\gamma$ . dan pada temperatur 900°C hingga 1000°C terjadi perubahan aliran panas yang mengalami proses peleburan hingga paduan tersebut tidak mencair pada temperatur 1175,07 °C hingga 1195,98 °C dengan membutuhkan panas sebesar 0,0391 kal/g yang mengalami perubahan fasa  $\gamma$  menjadi  $\gamma$ +cair. Pada Tabel-1 dapat dilihat bahwa untuk logam Uranium, logam Zirkonium dan paduan U-Zr dengan kandungan 10% dan 14% berat, perubahan fasa menjadi fasa cair terjadi pada temperatur yang sama, sehingga komposisi Zr sangat mempengaruhi besar entalpi yang diperoleh dalam proses

perubahan fasa tersebut. Hal ini disebabkan semakin tinggi komposisi Zr, semakin kecil entalpi yang dibutuhkan paduan U-Zr .

Tabel-1: Data Temperatur Lebur dan Entalpi Logam Uranium, Logam Zr, Paduan U-Zr

No	Komposisi	Temperatur (°C)		Entalpi (Kal/g)	Keterangan
		Onset Point	Peak top		
1	U	<661,93	-	-	Stabil $\alpha$ $\alpha$ menjadi $\beta$ $\beta$ menjadi $\gamma$ $\gamma$ menjadi cair cair
		661,93	667,73	2,8018	
		767,49	773,40	3,5758	
		1117,46	1126,07	2,9695	
		$\geq 1126,07$	-	2,9695	
2	Zr	< 662,84			Tidak terjadi reaksi termokimia Terjadi kenaikan aliran panas Terjadi penurunan aliran panas
		>700			
3	U-Zr 10 %	662	-	-	Stabil $\alpha$ $\alpha$ menjadi $\beta$ $\beta$ menjadi $\gamma$ $\gamma$ ( $\gamma$ U) $\gamma$ menjadi ( $\gamma$ + cair)
		677,63	695,09	1,2287	
		782,42	790,76	5,3586	
		900	1000	-	
		1115,29	1249,58	0,871	
4	U-Zr 14 %	662	-	-	Stabil $\alpha$ $\alpha$ menjadi $\beta$ $\beta$ menjadi $\gamma$ $\gamma$ ( $\gamma$ U) $\gamma$ menjadi $\gamma$ + cair
		687,37	692,42	1,1863	
		782,87	791,55	8,0885	
		900	1000	-	
		1175,07	1195,98	0,0391	

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis termal dengan menggunakan alat TG-DTA terhadap logam U, logam Zr serta paduan U-Zr 10% dan U-Zr 14% dapat disimpulkan sebagai berikut :

Hasil pengujian termal pada pemanasan 30-1000 °C logam Uranium, logam Zr dan paduan U-Zr hasil peleburan mempunyai kestabilan panas yang cukup baik, dengan demikian logam Uranium, logam Zirkonium serta paduan tersebut dapat diteliti lebih lanjut terhadap karakterisasi termal lainnya serta interaksi paduan U-Zr dengan matrik Al sebagai kandidat bahan bakar reaktor riset dimasa mendatang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Masrukan yang telah menyediakan bahan penelitian dan Ir. Aslina Br. Ginting yang telah banyak membantu dan memberikan saran dalam penyusunan hingga terselesainya makalah ini.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

1. ASMINAR, dkk, "Analisis Pengotor Ingot Uranium-Zirkonium (U-Zr) Dengan Spektrometer Serapan Atom", Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2006, ISSN 0854-5561, Tangerang, 2006
2. GINTING, ASLINA, dkk, " Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Thermal Paduan U-Zr Dengan Variasai Kandungan Zr", Buletin Triwulan Daur Bahan Bakar Nuklir Vol. 13 No 3, URANIA, Juli 2007
3. MASRUKAN,dkk, " Pengaruh Komposisi Zr Pada Pembuatan Bahan Bakar U-Zr Terhadap Kekerasan, Mikrostruktur dan Thermalnya". Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2006, ISSN 0854-5561, Tangerang, 2006
4. ANONIM, "Manual Operation TG-DTA and DSC", SETARAM, France,1992