

## KARAKTERISASI PADUAN U-7%Mo DAN U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%) HASIL PROSES PELEBURAN DALAM TUNGKU BUSUR LISTRIK

Supardjo, H. Suwarno dan A. Kadarjono

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang

### ABSTRAK

**KARAKTERISTIK PADUAN U-7%Mo DAN U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%) HASIL PROSES PELEBURAN DALAM TUNGKU BUSUR LISTRIK.** Karakterisasi paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%) dilakukan dalam rangka pengembangan bahan bakar reaktor riset dengan uranium pengayaan rendah (<20%U<sup>235</sup>). Data uji paduan hasil peleburan menunjukkan bahwa adanya unsur Si dalam paduan U-7%Mo berpengaruh terhadap sifat paduannya. Kadar Si makin tinggi, kekerasan paduan dan sifat termal cenderung naik, sedangkan kapasitas panas cukup stabil. Sifat termal paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si pada rentang temperatur antara 30-1000 °C, terjadi reaksi endotermik dari fasa  $\beta$ U menjadi  $\alpha$ U +  $\gamma$ U pada temperatur antara 574,18 °C s/d 673,75 °C dengan entalpi berturut-turut 0,613 cal/g, 0,613 cal/g, 2,1588 cal/g dan 2,3806 cal/g, sedangkan kapasitas panas pada temperatur antara 25-450 °C adalah (0,11 - 0,19) J/g.K, (0,1 - 0,18) J/g.K, (0,12 - 0,22) J/g.K, dan (0,11 - 0,25) J/g.K. Temperatur perubahan fasa yang cukup tinggi (> 574,18 °C) dan stabilitas kapasitas panas yang cukup baik, maka paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si cocok sebagai kandidat bahan bakar reaktor riset karena temperatur operasi reaktor hanya sekitar 150 °C.

**Kata kunci :** Bahan bakar dispersi, paduan U-7%Mo dan U-7%Mo.x%Si, reaktor riset.

### ABSTRACT

**THE CHARACTERISTIC OF U-7%Mo AND U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, and 3%) ALLOYS AS A RESULT OF MELTING PROCESS IN ELECTRIC ARC FURNACE.** The characterisation of U-7%Mo and U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, and 3%) alloys is done for the development of research reactor fuel with low enrichment uranium (< 20%U<sup>235</sup>). Alloys test data result of melting indicates that existence of element Si in U-7%Mo alloy influential to its alloy property of alloy. The higher Si content, the higher hardness and thermal property of alloys, while their heat capacity are stable enough. The thermal property of U-7%Mo and U-7%Mo-x%Si alloys at temperature between 30-1000 °C, happened endothermic reaction from phase  $\beta$ U becomes  $\alpha$ U +  $\gamma$ U at temperature between 574.18 °C to 673.75 °C with enthalpy successively 0.613 cal/g, 0.613 cal/g, 2.1588 cal/g, and 2.3806 cal/g, while heat capacity at temperature between 25-450 °C is (0.11 - 0.19) J/gK, (0.1 - 0.18) J/gK, (0.12 - 0.22) J/gK, and (0.11 - 0.25)J/gK. Transformation temperature of phase is high enough (> 574.18°C) and stability of heat capacity is good enough, hence U-7%Mo and U-7%Mo-x%Si alloy are compatible as research reactor fuel candidates because operation temperature of reactor is only around 150 °C.

**Key Word :** Dispersion fuel, U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si alloys, research reactor.

## PENDAHULUAN

### • Latar belakang

Sejak tahun 1978, perhatian terhadap penggunaan uranium di seluruh dunia dicurahkan untuk pengalihan penggunaan uranium dari pengayaan tinggi ( $> 90\%U^{235}$ ) ke pengayaan rendah ( $< 20\%U^{235}$ ). Program ini dicanangkan dalam upaya mengurangi/ menghilangkan penggunaan uranium pengayaan tinggi untuk keperluan persenjataan oleh orang-orang yang tidak bertanggung jawab (seperti terorisme). Dengan dicanangkannya program tersebut, maka sebagai konsekuensinya adalah penggunaan uranium pengayaan tinggi yang biasa digunakan sebagai bahan bakar nuklir (khususnya pada reaktor riset) harus dialihkan kepengayaan lebih rendah. Pengalihan penggunaan bahan bakar dengan uranium pengayaan rendah mengakibatkan jumlah  $U^{235}$  turun menjadi sekitar 1/5-nya (pada disain bahan bakar tetap) sehingga akan menurunkan unjuk kerja reaktor penggunanya. Untuk mempertahankan unjuk kerja reaktor minimal sama seperti penggunaan bahan bakar dengan uranium pengayaan tinggi dan dengan tidak mengubah disain dimensi bahan bakar dan teras reaktor, maka sebagai alternatif yang paling memungkinkan dan ekonomis adalah menggunakan material bahan bakar baru yang memiliki berat jenis lebih tinggi. Diantara material yang sesuai untuk pengembangan ini adalah material berbasis paduan uranium diantaranya adalah  $UAl_x$ ,  $U_xSi_y$ , dan  $UMo$ <sup>[1]</sup>.

### • Pengembangan bahan bakar dispersi dengan uranium pengayaan rendah

Bahan bakar dispersi  $UAl_x$ -Al dengan uranium pengayaan tinggi telah digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset sejak tahun 1950-an. Unjuk kerja bahan bakar tersebut selama digunakan di dalam reaktor cukup baik dan memiliki stabilitas yang cukup tinggi.

Tetapi menggunakan uranium pengayaan rendah densitas uranium yang dapat dicapai hanya sekitar  $2,7 \text{ gU/cm}^3$ . Densitas uranium tersebut masih jauh dari yang diperlukan berkaitan dengan penggunaan uranium pengayaan rendah yaitu  $> 8 \text{ gU/cm}^3$ <sup>[2,3]</sup>.

Pengembangan bahan bakar dispersi selanjutnya adalah paduan  $U_xSi_y$ , (terutama  $U_3Si_2$ -Al) dan telah digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset di dunia. Bahan bakar tersebut mudah difabrikasi, memiliki stabilitas iradiasi yang cukup baik, namun proses olah ulang gagal produk maupun bahan bakar pasca iradiasi sangat sulit dan densitas uranium yang dapat dicapai maksimum hanya  $4,8 \text{ gU/cm}^3$ <sup>[4]</sup>.

Bahan bakar berbasis paduan  $UMo$  merupakan topik perhatian yang hingga saat ini sedang diteliti oleh para periset di seluruh dunia yang berkecimpung di bidang bahan bakar reaktor riset. Pengembangan bahan bakar ini mengarah ke bahan bakar paduan berbasis  $UMo$  (7-10%Mo) yang memiliki densitas tinggi<sup>[5]</sup>.

Logam uranium murni pada prinsipnya merupakan bahan bakar yang memiliki berat jenis tinggi, tetapi isotropic fasa  $\gamma U$  selama iradiasi hanya stabil pada temperatur tinggi, sementara pada temperatur rendah struktur fasa  $\alpha U$  berpotensi *swelling*. Perubahan fasa  $\gamma$  ke  $\alpha$  (melalui fasa  $\beta$ ) tidak dapat ditahan dengan *quenching* fasa  $\gamma U$  murni pada suhu tinggi, tetapi pada rentang temperatur diatas dimana fasa  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  menjadi stabil sehingga sebagai alternatifnya memerlukan penambahan bahan pepadu<sup>[6]</sup>.

Molybdenum memiliki derajat kelarutan padat  $\gamma U$  yang tinggi. Jika pendinginan lambat atau paduan mengandung  $< 7\%Mo$ , kesetimbangan paduan  $U(Mo)$  dibawah  $560^\circ C$  berupa campuran fasa  $\alpha U$  dan  $\gamma(U_2Mo)$ , sementara larutan padat  $\gamma-U/Mo$  terbentuk pada temperatur tinggi. Walaupun fasa  $\gamma U$  paduan

UMo memiliki unjuk kerja yang baik selama iradiasi, tetapi sebagai bahan bakar dispersi UMo-Al terlihat bahwa selama proses iradiasi terbentuk pori yang besar yang menyebabkan lapisan/*layer* hasil interaksi antara partikel bahan bakar UMo dan matriks Al menjadi tidak stabil. Pertumbuhan *layer* hasil interaksi menyebabkan temperatur bahan bakar naik karena konduktivitas termal lebih rendah daripada matriks. Selain itu *layer* hasil interaksi memiliki densitas lebih rendah daripada densitas rerata reaktan, sehingga pertumbuhan *layer* menyebabkan terjadinya *swelling meat* bahan bakar yang cukup signifikan<sup>[7]</sup>. Untuk menstabilkan interaksi antara bahan bakar dan matriks dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya menambahkan unsur logam kedalam paduan UMo (Si, Ti, Zr, dll) atau menggunakan bahan matriks yang berbeda seperti serbuk Mg atau campuran Al dan Si<sup>[8]</sup>.

#### • Paduan UMoSi

Tiga senyawa terner yaitu stoichiometri fasa  $U_2Mo_3Si_4$  dan  $U(Mo_{1-x}Si_x)_2$  dengan tingkat homogenisasi pada 1400 °C dari  $UMo_{1,25}Si_{0,75}$  menjadi  $UMo_{1,5}Si_{0,5}$ , tetapi di daerah agak sempit pada 850 °C dari  $UMo_{1,32}Si_{0,68}$  menjadi  $UMo_{1,4}Si_{0,6}$  dan senyawa terner baru  $U(Mo_ySi_{1-y})$  pada 850 °C dari  $y = 0,25$  sampai  $y = 0,33$ <sup>[9]</sup>.

Penambahan unsur Si kedalam bahan bakar UMo merupakan kandidat penstabil terjadinya interaksi *layer*. Perlakuan panas paduan  $\gamma$ -U-7%Mo-x%Si adalah fasa  $\gamma$ -U yang metastabil, dan pada konsentrasi Mo dan Si tinggi membentuk endapan  $(UMo)_2Si$  di batas butir. Butiran dan densitas endapan menjadi lebih keras seiring kenaikan kadar Si<sup>[8]</sup>

#### • Pembuatan paduan berbasis UMo

Pembuatan paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%) dapat dilakukan dengan cara peleburan menggunakan tungku busur listrik atau

tungku induksi. Peleburan menggunakan tungku busur listrik dilakukan berulang-ulang pada kondisi vakum/media gas *inert*. Hal ini dimaksudkan agar selama proses peleburan tidak terjadi reaksi dengan unsur-unsur di lingkungannya selain unsur pemadu.

Pada penelitian ini pembuatan paduan dilakukan dengan teknik peleburan menggunakan tungku busur listrik dalam media gas argon. Paduan/ingot hasil peleburan dilakukan pengujian meliputi: strukturmikro, kekerasan, sifat thermal, dan kapasitas panas. Data hasil uji dievaluasi sesuai persyaratan bahan bakar dispersi untuk bahan bakar reaktor riset

#### TATAKERJA

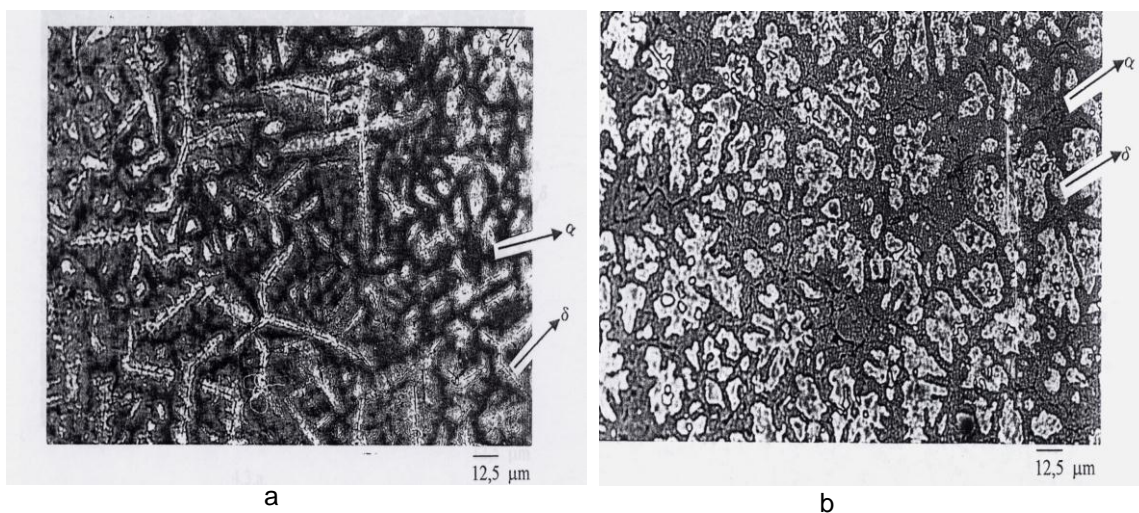
Penelitian menggunakan bahan baku uranium depleksi dengan bahan pemadu logam Mo dan Si. Paduan dibuat dengan komposisi U-7%Mo, kemudian pada komposisi yang sama masing-masing ditambahkan unsur logam Si berturut-turut 1%, 2%, dan 3%. Masing-masing komposisi dilebur dalam tungku busur listrik bermedia gas argon dengan arus 150A. Peleburan dilakukan lima kali pengulangan dan setiap peleburan selama 2 menit. Ingot hasil peleburan dilakukan pengujian/analisis terhadap: strukturmikro menggunakan teknik metalografi, sifat termal menggunakan alat *Differential Thermal Analysis* (DTA), kapasitas panas menggunakan alat DSC, dan kekerasan menggunakan alat *Vickers Hardness Number* (VHN).

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

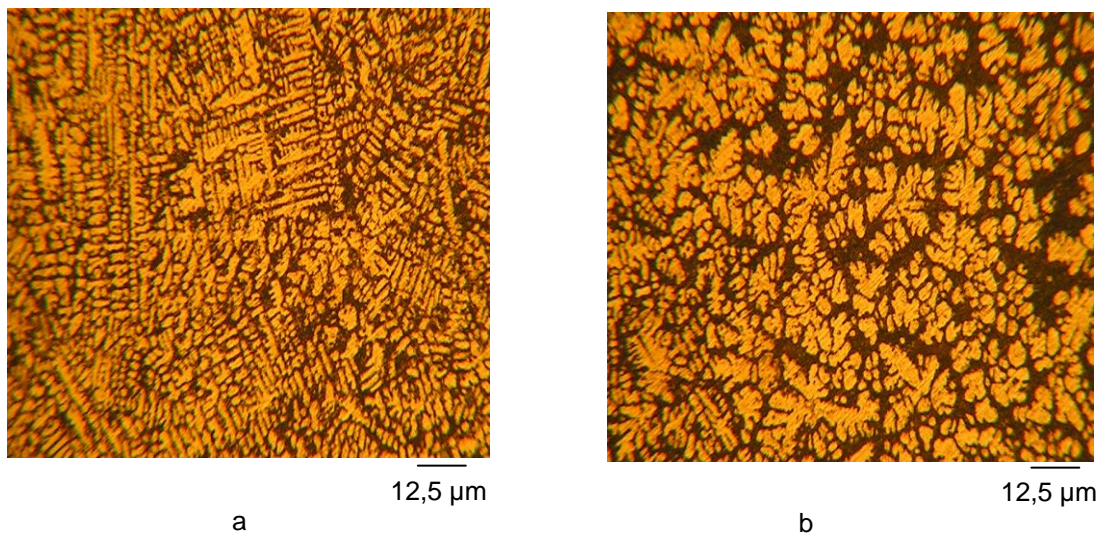
Strukturmikro paduan/ingot U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si hasil peleburan dalam tungku busur listrik ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2. Dari strukturmikro kedua jenis paduan tersebut belum bisa diidentifikasi secara kuantitatif, namun semua paduan mempunyai kecenderungan dan pola yang sama yaitu ingot bagian pinggir yang

berdekatan dengan pendingin terbentuk denrit yang memanjang dan bercabang, sedangkan pada bagian tengah butiran cenderung bulat dan seragam. Pendinginan lelehan paduan hasil peleburan dilakukan secara alamiah dalam media gas argon. Pada saat pendinginan terjadi perpindahan panas dari tengah lelehan ke media gas argon dan cawan peleburan yang dilengkapi pendingin air. Lelehan yang bersinggungan dengan cawan peleburan cepat dingin membentuk denrit, sedangkan yang berada ditengah pendinginan agak lambat sehingga sempat terjadi pertumbuhan butir dan terlihat butiran lebih besar. Hal ini terjadi karena saat proses peleburan berlangsung, pada bagian ingot yang bersinggungan dengan cawan

peleburan lebih cepat dingin dibandingkan bagian tengah. Oleh karena terjadi pendinginan yang cukup cepat, maka pembentukan inti menjadi butir lebih cepat dibandingkan pertumbuhan butir sehingga terbentuk butir-butir yang seragam. Pada bagian yang agak ketengah pendinginannya lambat, sehingga kecepatan terbentuknya inti lebih rendah dibandingkan pertumbuhan inti. Akibatnya inti yang terbentuk lebih sedikit tetapi pertumbuhan inti menjadi butir yang memanjang lebih besar. Sementara itu, pada bagian tengah terjadi pendinginan yang lebih lambat dibanding pada bagian yang bersentuhan dengan permukaan cawan peleburan yang berakibat pertumbuhan butir dan pertumbuhan inti hampir sama sehingga terbentuk butir yang seragam. Selain itu, dari gambar strukturmikro terlihat pula fasa  $\alpha$  sebagai matriks dan fasa  $\delta$ -(U<sub>2</sub>Mo) sebagai fasa kedua.



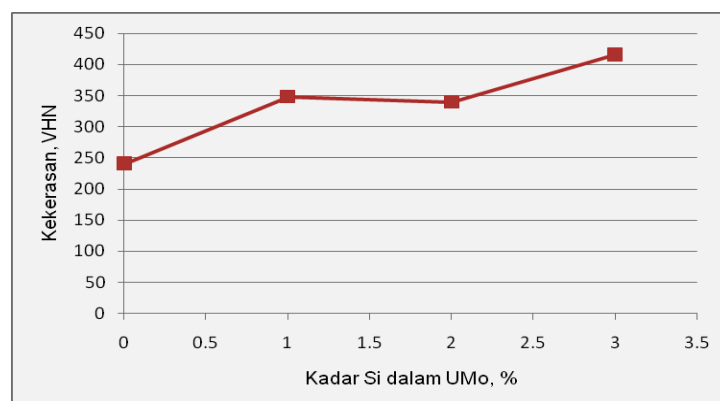
Gambar 1. Strukturmikro U-7%Mo, a: pinggir, b: tengah <sup>[10]</sup>



Gambar 2. Strukturmikro U-7%Mo-2%Si, a: pinggir, b: tengah

Keberadaan unsur Si di dalam campuran U-7%Mo berpengaruh terhadap kekerasan paduan hasil peleburan. Dengan penambahan unsur Si, kekerasan paduan cenderung meningkat dan makin tinggi kadar Si, kekerasannya makin tinggi pula. Hasil uji kekerasan paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (Gambar 3) terlihat bahwa, makin tinggi kadar Si kekerasan cenderung meningkat. Kenaikkan kekerasan ini kemungkinan disebabkan terbentuknya endapan  $(UMo)_2Si$  dibatas butir, sehingga menghalangi terjadinya deformasi. Makin tinggi kadar Si, maka endapan  $(UMo)_2Si$  dibatas butir semakin banyak yang mengakibatkan paduan makin

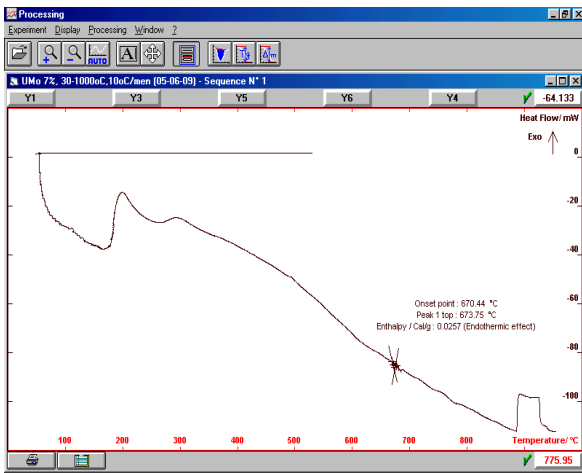
keras. Paduan dengan kadar 2% Si kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan paduan berkadar 1% Si, hal ini kemungkinan paduan U-7%Mo-2%Si kurang homogen sehingga ditempat-tempat tertentu terdapat unsur Mo berlebihan sedangkan ditempat lain mengalami kekurangan unsur Mo baik sebagai larutan padat maupun fasa kedua. Akibat dari hal tersebut endapan  $(UMo)_2Si$  dibatas butir juga tidak merata. Karena paduan kurang homogen, maka pada saat uji kekerasan kemungkinan indenter mengenai bagian yang kekurangan unsur Mo maupun endapan  $(UMo)_2Si$  sehingga menghasilkan kekerasan yang lebih rendah.



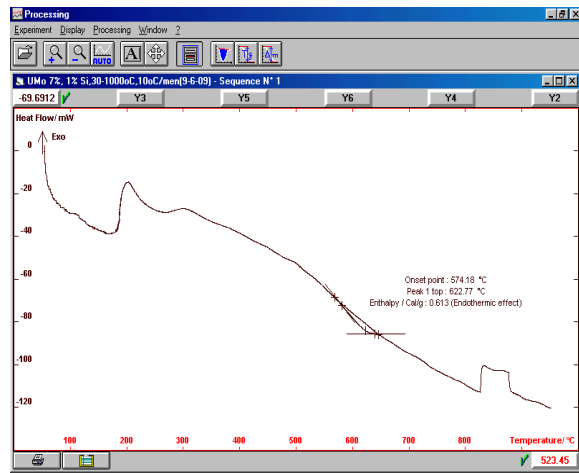
Gambar 3. Kekerasan paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%)

Pengujian sifat thermal paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si menggunakan alat *Differential Thermal Analysis* (DTA) dilakukan pada rentang temperatur antara 30 – 1000 °C dengan kecepatan pemanasan 10 °C/menit. Data hasil pengukuran pada Tabel. 1 (terlampir) dan Gambar. 4 -7 menunjukkan bahwa semua paduan terjadi reaksi endotermik. Keberadaan unsur logam Si dalam paduan U-7%Mo berpengaruh terhadap sifat termalnya. Hal ini dapat dilihat bahwa keberadaan unsur Si dalam paduan U-7%Mo menurunkan temperatur perubahan fasa,

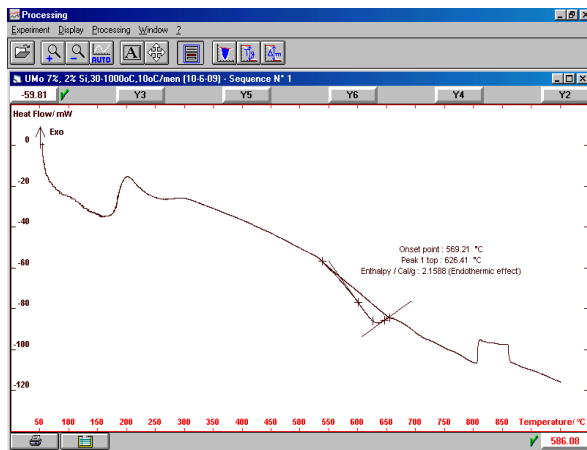
namun nilai enthalpi cenderung meningkat. Nilai entalpi paduan U-7%Mo sebesar 0,613 cal/g, sedangkan dengan keberadaan unsur Si sebesar 1%, 2% dan 3%, enthalpi naik berturut-turut 0,613 cal/g, 2,1588 cal/g dan 2,3806 cal/g. Penurunan temperatur perubahan fasa ini kemungkinan disebabkan adanya Si yang mempunyai titik leleh lebih rendah dibandingkan dengan Mo. Mengacu diagram fasa U-Mo-Si, menunjukkan bahwa terbentuk fasa  $U_3MoSi_2$  yang stabil dan tidak terdapat fasa transisi pada rentang temperatur antara 500 – 1100 °C.



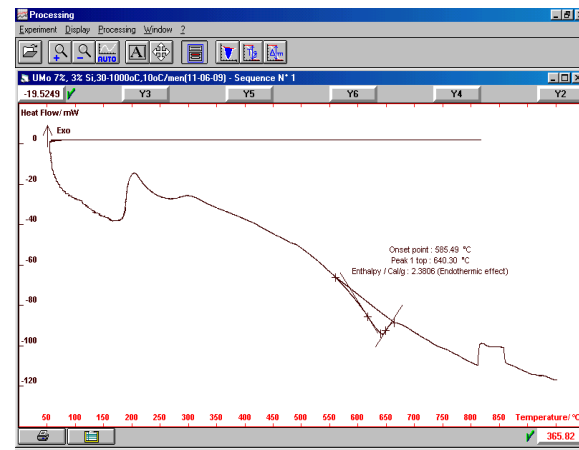
Gambar 4. DTA paduan U-7%Mo



Gambar 5. DTA paduan U-7%Mo-1%Si



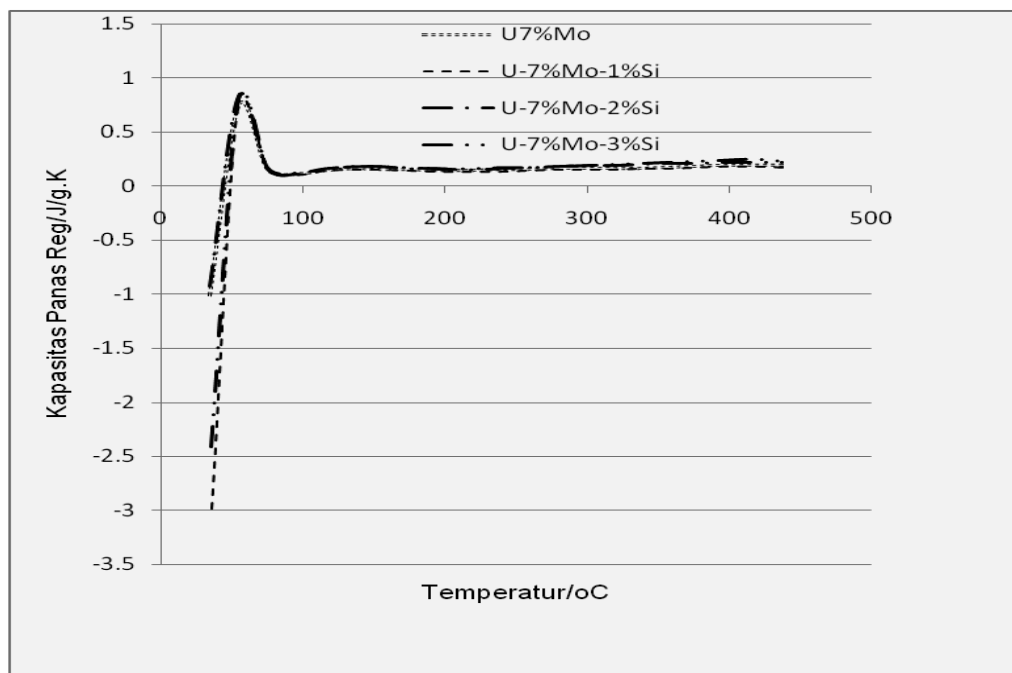
Gambar 6. DTA paduan U-7%Mo-2%Si



Gambar 7. DTA paduan U-7%Mo-3%Si

Pengujian/pengukuran kapasitas panas paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si dilakukan menggunakan alat DSC. Data pengukuran pada rentang temperatur antara 25 – 450 °C ditunjukkan pada Gambar. 8 dan Tabel 2 (terlampir). Pada awal pengukuran pada suhu sekitar 35 dan 55 °C terbentuk puncak yang merupakan fluktuatif dari alat, namun hasil pengukuran mulai stabil pada suhu 75 °C. Kisaran kapasitas panas pada masing-masing paduan adalah: U-7%Mo (0,11

– 0,19 J/g.K), U-7%Mo-1%Si (0,10 – 0,18 J/g.K), U-7%Mo-2%Si (0,12 – 0,22 J/g.K), U-7%Mo-3%Si (0,11 – 0,25 J/g.K). Dengan penambahan unsur logam Si ke paduan U-7%Mo ada kecenderungan kenaikan kapasitas panas. Secara keseluruhan, kapasitas panas paduan ini relatif stabil. Oleh karena itu jika ditinjau dari segi kapasitas panasnya maka paduan U-7%Mo.x%Si cukup baik untuk digunakan sebagai bahan bakar.



Gambar 8. Kapasitas panas paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%)

## SIMPULAN

Penambahan unsur Si kedalam paduan U-7%Mo meningkatkan kekerasan paduan dan makin banyak penambahan unsur Si ada kecenderungan kekerasan semakin tinggi. Paduan dengan kadar 2% Si kekerasannya lebih rendah dibandingkan dengan paduan berkadar 1% Si, hal ini kemungkinan paduan U-7%Mo-2%Si kurang homogen sehingga ditempat-tempat tertentu terdapat unsur Mo berlebihan sedangkan ditempat lain mengalami kekurangan unsur Mo baik sebagai larutan padat maupun fasa kedua. Peningkatan kekerasan ini kemungkinan

disebabkan terbentuknya endapan  $(UMo)_2Si$  di batas butir.

Keberadaan unsur Si dalam paduan U-7%Mo, temperatur perubahan fasa dari  $\gamma U \rightarrow \alpha U + \gamma' U$  menurun. Reaksi termokimia baik paduan U-7%Mo maupun U-7%Mo-x%Si terjadi secara endotermik dan makin tinggi kadar Si entalpi makin tinggi, sedangkan nilai kapasitas panasnya relatif stabil.

**PUSTAKA**

1. KIM. K.H, et.al, "Development of High Loading Alloy Fuel by Centrifugal Atomization", RERTR, Korea 1996.
2. HAMY.J.M, et.al, "Status as of March 2002 of The UMo Development Program", 6<sup>th</sup> International Topical meeting on Research Reactor Fuel Management, Belgium, March 17 to 20,2002.U.S.
3. CORNEN. M, et.al., "About the Effects of Si and/or Ti Additions On the UMo/Al Interactions", RRFM, Hamburg, Germany, 2008.
4. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION: SafetyEvaluation Report Related to the Evaluation Of Low Enriched Uranium Silicide Aluminium Dispersion Fuels for Use in Non Power Reactors, U.S.Nuclear Regulatory Commission Report NUREG-1313 (July 1988).
5. JORGE MARIN., "Current Status and Development of Fuel for Research Reactors in Chile", RRFM, 2008.
6. VAN DEN BERGHE, S., "Transmission Electron Microscopy Investigation of Irradiated U-7%Mo Dispersion Fuel", RERTR, Czech Republic, September 23 - 27, 2007.
7. PARK. J.M, et.al., "Phase Stability and Diffusion Characteristics of U-Mo-X (X = Si, Al, Zr) alloys", RERTR, USA on November 6 - 10, 2005.
8. OLIVER. L., et.al, "Nuclear Fuel Development Based on UMo Alloys Under Irradiation Evaluation of LEU U3Si2-4,8gU/cm3 Test Fuel", RERTR Azech Republic, September 23-27,2007
9. ROGL. P. and NOEL. H., "Molybdenum – Silicon – Uranium ", <http://resources.metapress.com>.
10. SUPARDJO., MASRUKAN., "Pembuatan dan Karakterisasi Paduan UMo Sebagai Kandidat Bahan Bakar Nuklir Tipe Dispersi", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, vol. 4 No.2, Juni 2008.

**LAMPIRAN**

Tabel 1. Data *Differensial Thermal Analysis* (DTA)

Sampel	Perubahan fasa		
	Rentang Temperatur	Entalpy, cal/g	Fasa
U-7%Mo	670,44°C - 673,75°C	0,613 (Endotermik)	$\gamma U \rightarrow \alpha U + \gamma' U$
U-7%Mo-1%Si	574,18°C - 622,77°C	0,613 (Endotermik)	$\gamma U \rightarrow \alpha U + \gamma' U$
U-7%Mo-2%Si	569,21°C - 626,41°C	2,1588 (Endotermik)	$\gamma U \rightarrow \alpha U + \gamma' U$
U-7%Mo-3%Si	585,49°C - 640,30°C	2,3806 (Endotermik)	$\gamma U \rightarrow \alpha U + \gamma' U$



Tabel 2. Data pengukuran kapasitas panas paduan UMo dan UMoSi

U-7%Mo, 25-450 °C, 10 °C/min		U-7%Mo-1%Si, 25-450 °C,10 °C/min		U-7%Mo-2%Si, 25-450 °C, 10 °C/min		U-7%Mo-3%Si, 25-450 °C,10 °C/min	
Temperatur/ °C	Cp Reg/ J/g.K	Temperatur / °C	Cp Reg/ J/g.K	Temperatur/ °C	Cp Reg/ J/g.K	Temperatur/ °C	Cp Reg/ J/g.K
34.39	-1.01	36.05	-2.98	34.54	-0.93	35.4	-2.41
54.76	0,74	54.75	0.77	54.75	0.83	54.71	0.81
75.02	0,15	75.05	0.15	75.1	0.17	75.02	0.16
95.31	0,11	95.27	0.1	95.39	0.12	95.27	0.11
115.46	0,14	115.54	0.14	115.51	0.16	115.48	0.16
135.58	0,16	135.66	0.15	135.66	0.18	135.58	0.18
155.8	0,15	155.83	0.15	155.83	0.18	155.77	0.18
175.94	0,15	175.89	0.14	175.97	0.16	175.94	0.17
196.04	0,14	196.07	0.13	196.07	0.16	196.11	0.16
216.14	0,14	216.21	0.13	216.24	0.15	216.14	0.16
236.36	0,15	236.28	0.13	236.36	0.16	236.25	0.17
256.5	0,15	256.47	0.14	256.47	0.17	256.38	0.17
276.57	0,16	276.54	0.15	276.69	0.18	276.54	0.18
296.67	0,16	296.67	0.15	296.64	0.19	296.67	0.19
316.78	0,16	316.76	0.15	316.86	0.19	316.83	0.2
336.9	0,16	336.9	0.16	336.9	0.2	336.9	0.21
356.97	0,17	357	0.16	357	0.21	356.97	0.22
377.09	0,18	377.15	0.17	377.05	0.21	376.99	0.23
397.04	0,19	397.21	0.18	397.21	0.22	397.14	0.24
417.13	0,19	417.29	0.18	417.16	0.22	417.13	0.25
437.25	0,19	437.38	0.17	437.28	0.22	437.18	0.23