KARAKTERISASI INGOT PADUAN U-7Mo-xTi HASIL PROSES PELEBURAN MENGGUNAKAN TUNGKU BUSUR LISTRIK

Supardjo, Agoeng K. , Boybul, Maman K.A.
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN
E-mail : suparjo@batan.go.id.
(diterima 26-11-2013, disetujui 27-12-2013)

ABSTRAK

KARAKTERISASI INGOT PADUAN U-7Mo-xTi HASIL PROSES PELEBURAN MENGGUNAKAN TUNGKU BUSUR LISTRIK. Telah dilakukan karakterisasi ingot paduan U-7Mo-xTi dalam rangka mendapatkan paduan yang memenuhi persyaratan kandidat bahan bakar nuklir. Ingot paduan U-7Mo-xTi dibuat dengan teknik peleburan di dalam tungku busur listrik bermedia gas argon, menggunakan arus listrik 150 amper dan setiap paduan dilebur dengan lima kali pengulangan. Pengujian meliputi strukturmikro dengan teknik metalografi, komposisi fasa dengan XRD, berat jenis dengan alat *Ultrapyc* 1200e Version 4.00, enthalphy menggunakan DTA dan capasitas panas dengan DSC. Strukturmikro ingot U-7Mo-xTi pada bagian tepi terbentuk denrit, sedangkan pada bagian tengah cenderung bulat dan makin tinggi kadar Ti butiran semakin besar. Pola difraksi sinar-x sampel U-7Mo-xTi dengan perbedaan kadar Ti terbentuk puncak-puncak yang mirip sehingga dapat diduga memiliki fasa yang sama yaitu γ-U. Berat jenis ingot menurun seiring kenaikan kadar Ti. Hasil uji dengan DTA teramati reaksi endotermik paduan U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, U-7Mo-3Ti yang terjadi pada rentang temperatur berturut-turut 641,83 ^{o}C-655.21 ^{o}C, 638,89 ^{o}C-650.95 ^{o}C, dan 644,38 ^{o}C - 662,20 ^{o}C dengan entalpi 0.37 cal/g, 0.4328 cal/g dan 5,1021 cal/g. Entalpi tersebut kemungkinan merupakan panas yang diperlukan untuk perubahan dari fasa α + U_2Ti menjadi β + U_2Ti. Makin tinggi kadar Ti panas yang diperlukan meningkat, karena pembentukan β + U_2Ti juga lebih banyak. Unsur Ti di dalam paduan U-7Mo menurunkan kapasitas panasnya, dan kadar 1%, 2%, dan 3% Ti dalam bentuk paduan U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, dan U-7Mo-3Ti memiliki kapasitas panas berturut-turut 0,06 – 0.14 J/g.K , 0,08 – 0,17 J/g.K dan 0,08 – 0,16 J/g.K. Kapasitas panas tersebut tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan cenderung konstan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian paduan U-7Mo-xTi sebagai kandidat bahan bakar di masa mendatang.
Kata kunci: Paduan U-7Mo-xTi, bahan bakar dispersi, karakterisasi.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF U-7Mo-xTi ALLOY AS SMELTING PROCESS RESULTS USING ARC FURNACE. *Characterization of U-7Mo-xTi alloy has been done in order to get the candidate meets the requirements of alloy nuclear fuel. The U-7Mo-xTi alloy wasw made by the technique of smelting electric arc furnace in argon gas media, using electric current 150 ampere and any alloy is melted with five repetitions. Testing includes microstructure with metalografi technique, phase composition with XRD, specific gravity with device Ultrapyc 1200e Version 4.00, enthalphy using DTA and heat capacity with DSC. Microstructure of U-7Mo-xTi alloy showed that denrit was formed on the edge, while in the middle of the round tend to the higher levels of the Ti chip is getting bigger. X-ray diffraction patterns of a sample of U-7Mo-xTi with difference levels It forms peaks similar to so it can be alleged to have the same phases namely γ-U. The density of alloy decreases levels increase Ti. Test results with DTA observed endothermic U-7Mo-1Ti U-7Mo-2Ti, U-7Mo-3Ti alloy happened on consecutive*

ISSN 1907 – 2635
416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
(Masa berlaku Akreditasi s/d April 2015)

temperature range of 641.83 ^{o}C-655.21 ^{o}C, 638.89 ^{o}C- 650.95 ^{o}C, and 644.38 ^{o}C- 662.20 ^{o}C with enthalpy 0.37 cal/g, 0.4328 cal/g and 5,1021 cal/g. Enthalpy is probably the heat needed for the change of α + U_2Ti to β + U_2Ti phase. The higher the levels of Ti heat needed increased, due to the formation of β U_2Ti is also much more. The element Ti in U-7Mo alloys heat capacity decrease, and the levels of 1%, 2% and 3% of it in the form U-7Mo-1Ti U-7Mo-2Ti, and U-7Mo-3Ti of alloy have consecutive heat capacity 0.06 – 0.14 J/g.K , 0.08 – 0.17 J/g.K dan 0.08 – 0.16 J/g.K. heat capacity that does not show a significant difference and tend to be constant. Research results are expected to be used as a reference in the study of U-7Mo-xTi alloy as the candidate for future fuels.
***Keywords**: U-7Mo-xTi alloy, dispersion fuel, characterization*

I. PENDAHULUAN

Penelitian paduan uranium bentuk binair atau ternair di bidang nuklir merupakan program internasional dalam rangka mendapatkan material baru untuk bahan bakar reaktor riset dengan uranium pengayaan rendah (<20 % ^{235}U). Beberapa pertimbangan pemilihan paduan uranium sebagai kandidat bahan bakar adalah selain densitasnya tingi, juga kemudahan proses fabrikasi, stabil selama digunakan sebagai bahan bakar di dalam reaktor dan mudah dilakukan proses olah ulang baik gagalan selama proses fabrikasi maupun bahan bakar pasca iradiasi. Dengan menggunakan paduan uranium dengan densitas tinggi sebagai bahan bakar, maka uranium yang dimuatkan dapat lebih banyak sehingga waktu tinggal bahan bakar di dalam reaktor dapat lebih lama.

Uranium merupakan material fisil yang memiliki densitas paling tinggi yaitu ± 18,485 g/cm^3 dengan titik leleh 1160 ^{o}C[1]. Walaupun logam uranium memiliki densitas tertinggi dibandingkan dengan logam lainnya, namun uranium tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar karena memiliki sifat-sifat yang tidak diinginkan diantaranya sangat reaktif terhadap oksigen membentuk uranium oksida dan swellingnya sangat tinggi yang berakibat kerusakan bahan bakar [2]. Selama iradiasi di dalam reaktor, isotropic fasa γ-U stabil pada temperatur tinggi, sementara pada temperatur rendah struktur fasa α-U berpotensi *swelling*. Perubahan fasa γ ke α (melalui fasa β) tidak dapat ditahan dengan *quenching* fasa γU murni pada temperatur tinggi, tetapi pada rentang temperatur diatas dimana fasa α, β, dan γ menjadi stabil sehingga sebagai alternatifnya memerlukan penambahan bahan pemadu [3].

Penambahan satu atau lebih unsur logam golongan V dan VII akan menaikkan stabilitas logam U. Paduan uranium dengan struktur kristal *body centered cubic* (*BCC*) fasa γ-U sangat stabil pada daerah temperatur yang luas dan kondisi kecepatan reaksi fisi[4]. Logam molybdenum (Mo) yang termasuk di dalam golongan ini memiliki berat jenis 10,2 g/cm^3, tampang lintang serapan neutron yang rendah dan titik leleh = 2620 ^{o}C. Penambahan 5% s.d. 20% atom Mo sebagai penyetabil dengan tetap mempertahankan densitas uranium tinggi. Berdasar sifat sifat tersebut maka paduan uranium berbasis U-Mo dipromosikan untuk digunakan sebagai kandidat bahan bakar reaktor riset densitas tinggi.

Paduan uranium berbasis uranium–molybdenum (U-Mo) adalah merupakan material penting di bidang teknik nuklir dalam penggunaannya sebagai kandidat bahan bakar nuklir. Keberadaan unsur Mo di dalam paduan berfungsi sebagai penyetabil fasa γ-U dan juga meningkatkan titik leleh bahan bakar[5].

Molybdenum memiliki derajat kelarutan padat γ-U yang tinggi. Jika pendinginan lambat atau paduan mengandung < 7%Mo, kesetimbangan paduan U(Mo) dibawah 560 ^{o}C berupa campuran fasa αU dan γ' (U_2Mo), sementara larutan padat γ-U/Mo terbentuk pada

temperatur tinggi. Walaupun fasa γU paduan UMo memiliki unjuk kerja yang baik selama iradiasi, tetapi sebagai bahan bakar dispersi U-Mo/Al terlihat bahwa selama proses iradiasi terbentuk pori yang besar yang menyebabkan lapisan/*layer* hasil interaksi antara partikel bahan bakar U-Mo dan matriks Al menjadi tidak stabil. Pertumbuhan *layer* hasil interaksi menyebabkan temperatur bahan bakar naik karena konduktivitas thermal lebih rendah dari pada 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[6]. Untuk menstabilkan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya menambahkan unsur logam ke dalam paduan UMo (Si, Ti, Zr, dll) atau menggunakan bahan matriks yang berbeda seperti serbuk Mg atau campuran Al dan Si [3].

Untuk menstabilkan paduan U-Mo dalam bentuk bahan bakar dispersi U-Mo/Al, maka pada penelitian ini dilakukan penambahan logam Ti (berat jenis 4,50 g/cm^3 dan titik leleh sebesar 1800 ^{o}C) kedalam paduan U-Mo. Pembuatan paduan ternair U-7Mo-xTi (x=1; 2; dan 3%) dilakukan dengan teknik peleburan dalam tungku busur listrik bermedia gas argon. Ingot paduan U-7Mo-xTi hasil peleburan dikenai pengujian/analisis yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pertimbangan kesesuaiannya dengan persyaratan bahan bakar dan juga sebagai dasar pengerjaan/penelitian lebih lanjut.

Dalam penggunaannya sebagai bahan bakar reaktor riset dan uji sifat termofisika merupakan parameter kunci untuk menegaskan/mengetahui temperatur bagian tengah bahan bakar dan untuk mengoptimasi desain termal. Untuk menghasilkan konduktifitas termal, difusi termal, dan kapasitas panas sebagai data dasar di dalam desain termal. Konduktifitas termal, λ (W.m^{-1}.K^{-1}) dihitung menggunakan persamaan (1)[2].

$$\lambda = \rho.\alpha.\ C_p \qquad (1)$$

dengan :
ρ = berat jenis (g.cm^{-3})
α = difusifitas termal (cm^2.s^{-1})
C_p = kapasitas panas spesifik (J.g^{-1}.K^{-1})

Konduktivitas material bahan bakar diperlukan dalam perhitungan manajemen teras reaktor pengguna bahan bakar.

II. TATA KERJA

Dalam penelitian ini digunakan bahan baku berupa logam uranium deplesi. Kadar U dianalisis menggunakan titroprosesor, sedangkan unsur penyusun dalam impuritas logam uranium, Mo dan Ti dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spektrophothometer* (*AAS*). Data analisis digunakan untuk menentukan komposisi berat U, Mo dan Ti dalam pembuatan paduan U-7Mo-xTi (x=0%, 1%, 2%, 3%) dan hasil hitung ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel.1. Data berat komposisi unsur logam pada pembuatan paduan

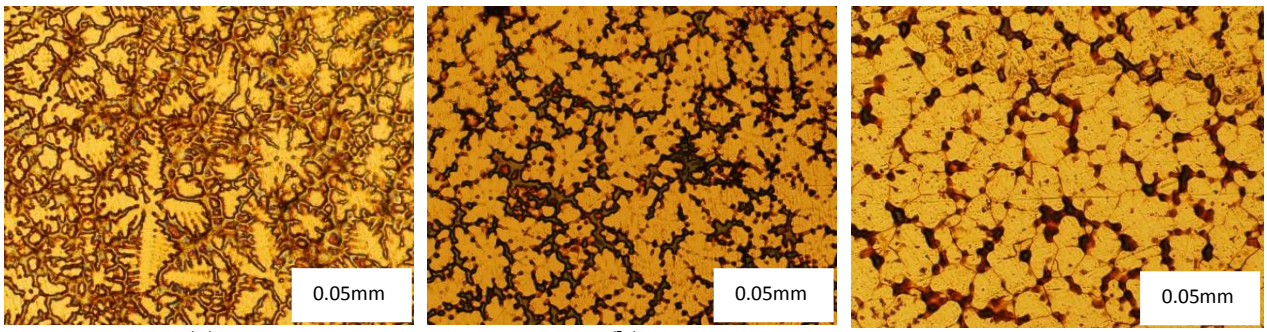
Paduan	Berat, g		
	U	Mo	Ti
U-7Mo-1Ti	21,31 (92,01%)	1,60 (6,92%)	0,23 (0,99%)
U-7Mo-2Ti	20,53 (91,14%)	1,55 (6,86%)	0,45 (2,00%)
U-7Mo-3Ti	20,43 (90,62%)	1,54 (6,82%)	0,68 (3,01%)

ISSN 1907 – 2635
416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
(Masa berlaku Akreditasi s/d April 2015)

Paduan U-7Mo-xTi dibuat dengan teknik peleburan menggunakan tungku busur listrik bermedia gas argon dengan arus listrik 150 A[7]. Setiap proses dilakukan dengan lima kali pengulangan sehingga diperoleh paduan yang homogen. Ingot paduan U-7Mo-xTi hasil peleburan dipotong-potong menjadi beberapa bagian untuk dilakukan pengujian/analisis meliputi : kadar U dan impuritas, strukturmikro, kekerasan, dan sifat termalnya. Logam U, Mo dan Ti sebelum dibuat paduan terlebih dahulu dilakukan analisis komposisi unsur penyusunnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ingot paduan U-7Mo-xTi hasil proses peleburan berdiameter ± 2 cm dan tebal ± 0,5 cm, masif, tidak berpori dan pada seluruh permukaannya tidak teramati adanya lapisan oksida. Pengujian/analisis ingot meliputi: mikrostruktur, komposisi fasa, berat jenis, entalpi dan kapasitas panas seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1.



(a) (b) (c)

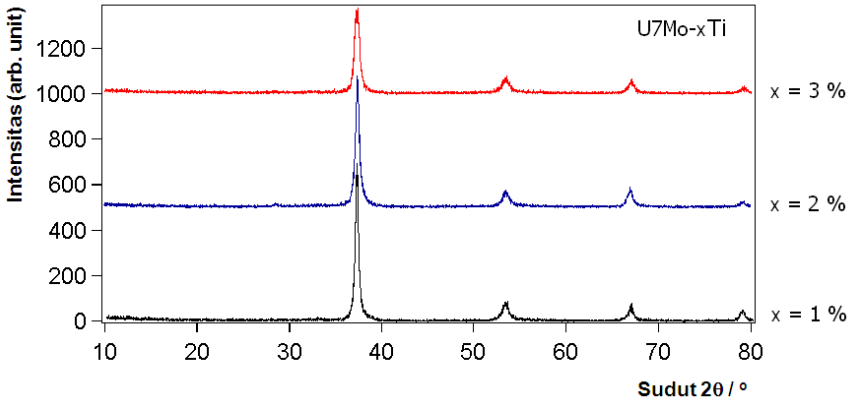
Gambar 1. Strukturmikro pada bagian tengah ingot paduan:
(a) U-7Mo1Ti (b) U-7Mo-2Ti (c) U-7Mo-3Ti

Tabel 1. Data pengukuran diameter butir paduan U-7Mo-xTi hasil peleburan

No.	Sampel	Diameter Butir (mm)	Rata-rata (mm)	Lokasi Sampling
1	U-7Mo-1Ti	0.021 0.026 0.019 0.030 0.019 0.017 0.026	0.023	Paling tepi
		0.018 0.032 0.020 0.018 0.026 0.030 0.029	0.028	Tepi
		0.029 0.032 0.028 0.031 0.031 0.040 0.030	0.031	Tengah
2	U-7Mo-1Ti	0.029 0.032 0.028 0.031 0.031 0.040 0.030	0.031	Tengah
3	U-7Mo-2Ti	0.035 0.033 0.033 0.043 0.037 0.039 0.037	0.037	Tengah
4	U-7Mo-3Ti	0.045 0.044 0.047 0.046	0.047	Tengah

Sampel ingot paduan U-7Mo-xTi hasil peleburan diambil pada bagian tepi dan tengah, kemudian diamplas sampai halus dan dietsa menggunakan campuran 45 mL HNO_3 + 10 mL HF + 45 mL H_2O. Strukturmikro ingot paduan U-7Mo-xTi diamati dan di foto menggunakan mikroskop optik terlihat bahwa pada bagian pinggir ingot terbentuk

denrit yang memanjang sedangkan pada bagian tengah butiran cenderung bulat. Terbentuknya denrit kemungkinan disebabkan bahwa setelah selesai proses peleburan terjadi pendinginan (perpindahan panas) dari bagian tengah menuju bagian tepi ingot. Ingot bagian tepi terutama yang menempel pada dinding cawan peleburan (yang dilengkapi aliran air pendingin) terjadi perpindahan panas yang lebih cepat dibandingkan dengan bagian tengah dan membentuk denrit, sedangkan ingot bagian tengah pendinginannya lambat sehingga ada waktu untuk pertumbuhan butir yang berdampak butiran cenderung membesar dan bulat. Pengaruh kadar Ti dalam paduan U-7Mo terlihat bahwa, semakin tinggi kadat Ti, butiran semakin besar seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil pengukuran butiran paduan U-7Mo-1Ti bagian tepi lebih kecil dibanding dengan bagian tengah. Pengaruh penambahan unsur Ti di dalam paduan U-7Mo berpengaruh terhadap besar butir, dan makin tinggi kadar Ti butiran bertambah besar. Hal menarik yang perlu diteliti lebih lanjut tentang peningkatan ukuran butir seiring peningkatan kadar Ti.



Gambar 2. Pola difraksi sinar-x sampel UMo-xTi.

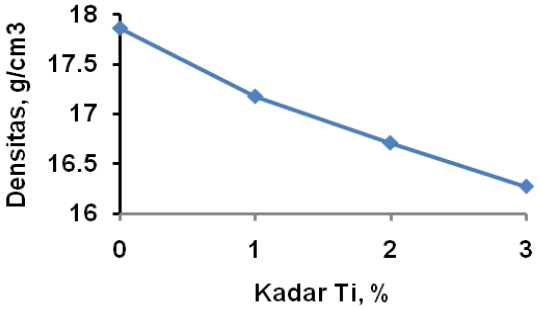
Ingot paduan U7Mo-xTi berbasis pada senyawa empiris uranium-gamma (γ-U). Pola difraksi sinar-x ingot U-7Mo-xTi dengan perbedaan kadar Ti masing-masing U7Mo-1Ti, U7Mo-2Ti, dan U7Mo-3Ti ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa semua ingot paduan terbentuk puncak-puncak yang mirip sehingga dapat diduga memiliki fasa yang sama. Selain itu dapat diasumsikan pula bahwa penambahan atau adanya substitusi unsur Mo dan Ti tidak membentuk fasa lain/asing, sehingga dapat dikatakan bahwa substitusi Mo dan Ti ke dalam U pada sistem γ-U telah terbentuk dengan baik. Walaupun demikian pengaruh penambahan atau substitusi Mo dan Ti ini terhadap struktur kristal perlu dianalisis lebih lanjut

Densitas logam mengalami perubahan karena penambahan paduan menyebabkan massa atom terlarut berbeda dengan massa atom pelarut dan juga karena berubahnya parameter kisi. Unsur-unsur pembentuk ingot paduan memiliki berat jenis masing-masing: U = 18,485 g/cm^3, Mo = 10,20 g/cm^3 dan Ti = 4,5 g/cm^3. Pengukuran berat jenis ingot paduan U-7Mo, U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, dan U-7Mo-3Ti hasil peleburan menggunakan alat *Ultrapyc* 1200e Version 4.00 diperoleh berturut-turut 17,8628; 17,1786; 16,7096; dan 16,7096 g/cm^3 dan ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3. Terlihat bahwa penambahan unsur Ti kedalam paduan U-7Mo menurunkan berat jenis paduan. Makin tinggi kadar Ti dalam paduan U-7Mo menyebabkan berat jenis paduan menurun dan makin tinggi

ISSN 1907 – 2635
416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
(Masa berlaku Akreditasi s/d April 2015)

kadar Ti semakin turun. Penurunan ini disebabkan dengan kenaikan kadar Ti, maka persentase uranium dan molibdenum yang memiliki berat jenis lebik tinggi daripada Ti di dalam paduan U-Mo-Ti menurun, sehingga otomatis berat jenisnya turun. Berat jenis paduan U-7Mo-xTi cukup tinggi sehingga secara teoritis dengan menggunakan paduan tersebut sebagai bahan bakar dispersi/monolitik densitas uranium > 8 gU/cm^3 akan dapat dicapai.

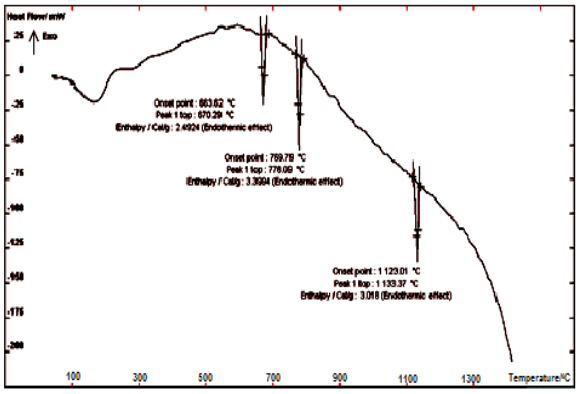


Gambar 3. Hubungan kadar Ti dalam paduan U-7Mo-xTi dengan densitas.

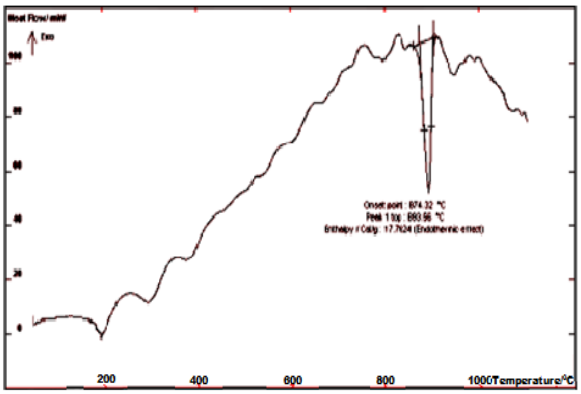
Pengujian sifat termal logam U, Mo, Ti dan paduan U7Mo-xTi meliputi temperatur lebur, entalpi dan kapasitas panas. Temperatur lebur dan entalpi dianalisis/diuji menggunakan alat *Differential Thermal Analysis* (*DTA*) pada kondisi operasi dari 30 ^oC sampai 1100/1400 ^oC dengan kecepatan pemanasan 10 ^oC per menit dalam media gas argon. Hasil uji logam U yang ditunjukkan Gambar 4.a terlihat bahwa terjadi reaksi endotermik yang divisualisasikan dalam bentuk *peak* (puncak) yang terjadi pada temperatur 663,62 ^oC, 769,79 ^oC dan 1123,01 ^oC. Pembentukan puncak pada temperatur 663,62 ^oC mengindikasikan terjadinya perubahan fasa α-U menjadi β-U dengan panas yang diperlukan 2,4924 cal/g, temperatur 769,79 ^oC mulai terjadi perubahan fasa dari β-U menjadi γ-U dengan panas yang diperlukan 3,3994 cal/g dan pada temperatur 1123,01 ^oC logam uranium mulai meleleh dengan panas yang diperlukan sebesar 3,018 cal/g. Proses perubahan fasa dari β-U menjadi γ-U membutuhkan energi lebih besar dibandingkan dengan lainnya. Logam Mo sebagai pemadu memiliki kecenderungan yang berbeda yaitu pengujian hingga temperatur 1200 ^oC tidak terjadi perubahan fasa, sedangkan logam Ti pada temperatur 874,32 ^oC mulai terjadi reaksi endotermik yaitu perubahan γ_2 + Ti menjadi γ_2 dengan enthalpy sebesar 17.7624 cal/g (Gambar 4.b.). Hasil pengujian paduan U-7Mo (Gambar 4.c) hingga temperatur 1100^oC, tidak teramati adanya perubahan fasa dan pada temperatur 1161,2 ^oC-1184,52 ^oC terjadi reaksi indotermik yang menyebabkan perubahan fasa γ membentuk L + γ dengan membutuhkan panas sebesar 16,6648 J/g. Lebih lanjut terjadi reaksi eksotermik yang dimulai pada temperatur 1329,95 ^oC terjadi perubahan fasa dari L + γ menjadi larutan fasa γ dengan mengeluarkan panas sebesar -5,0824 J/g.

Hasil uji U-7Mo-xTi dalam bentuk termogram yang ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa seluruh paduan terjadi reaksi endotermik dan kenaikan jumlah Ti didalam paduan, panas yang diperlukan untuk reaksi tersebut meningkat. Reaksi endotermik paduan U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, U-7Mo-3Ti terjadi pada rentang temperatur berturut-turut 641,83 ^oC-655.21 ^oC, 638,89 ^oC- 650.95 ^oC, dan 644,38 ^oC- 662,20 ^oC dengan entalpi 0.37 cal/g, 0.4328 cal/g dan 5,1021 cal/g. Entalpi tersebut kemungkinan merupakan panas yang diperlukan untuk perubahan dari fasa α + U_2Ti menjadi β + U_2Ti[9]. Makin tinggi kadar Ti panas yang diperlukan meningkat, karena pembentukan β + U_2Ti juga lebih banyak.

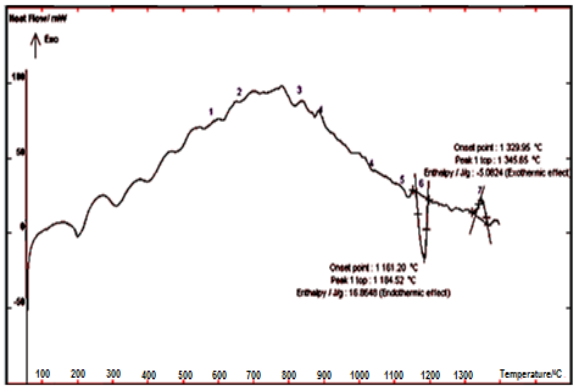
Bila dibandingkan dengan hasil pengujian terhadap paduan U-7Mo (Gambar 4.c) terlihat bahwa mulai terjadi peleburan pada temperatur 1161,2 ^oC dan ditengarai reaksi endotermik dalam bentuk puncak dengan puncak tertinggi pada temperatur 1184,52 ^oC dan panas peleburan 16,6648 kal/g.



(a)

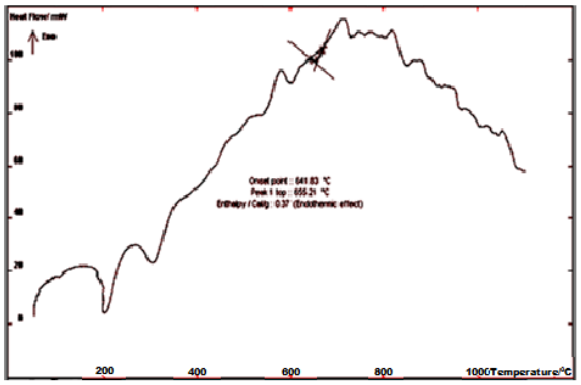


(b)

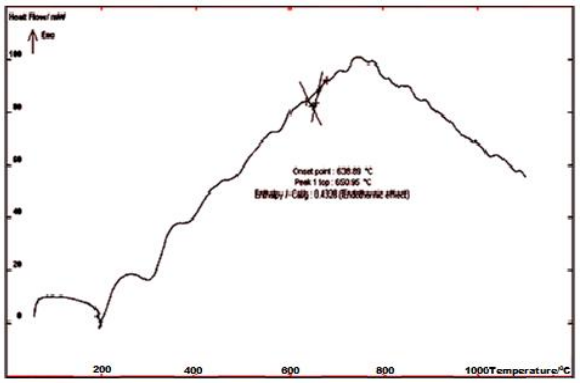


(c)

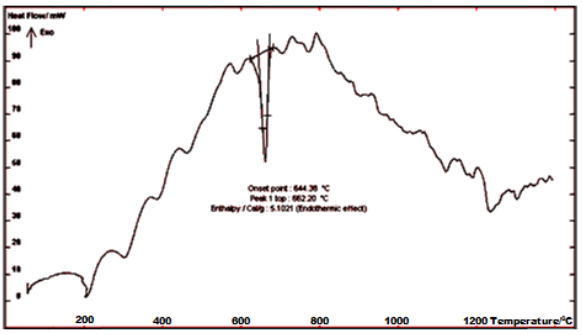
Gambar.4. Termogram DTA hasil uji (a) logam U, (b) logam Ti, (c) paduan U-7Mo[8].



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Termogram DTA hasil uji paduan (a) U-7Mo-1Ti, (b) U-7Mo-2Ti, (c) U-7Mo-3Ti

Pengujian kapasitas panas dilakukan menggunakan *Differential Scanning Calorimetry* (*DSC*) pada rentang temperatur antara 54,71 ^{o}C hingga 437,14 ^{o}C dengan kecepatan pemanasan 3 ^{o}C/menit. Hasil uji kapasitas panas unsur Mo, Ti dan paduan U-7Mo, U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti dan U-7Mo-3Ti ditunjukkan pada Tabel 3. Logam uranium memiliki kapasitas panas pada

ISSN 1907 – 2635
416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
(Masa berlaku Akreditasi s/d April 2015)

rentang 0,04 – 0,11 J/g.K[10], sedangkan pada Tabel 3 terlihat bahwa kapasitas panas logam murni Mo pada rentang 0,12 – 0,35 J/g.K dan Ti antara 0,28 – 0,69 J/g.K. Kapasitas panas logam Mo dan Ti naik seiring dengan kenaikan temperatur, sedangkan logam uranium cenderung stabil. Nilai kapasitas panas paduan U-7Mo fungsi temperatur dan terjadi pada rentang 0,11 – 0,19 J/g.K dan kapasitas panas naik seiring kenaikan temperatur. Keadaan berbeda setelah paduan U-7Mo yang dilebur dengan menambahkan 1%, 2%, 3% logam Ti sehingga membentuk paduan ternair U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, dan U-7Mo-3Ti dengan kapasitas panas berturut-turut 0,06 – 0.14 J/g.K , 0,08 – 0,17 J/g.K, 0,08 – 0,16 J/g.K. Penambahan pemadu Ti sebanyak 1%, 2%, dan 3% dalam paduan U-7Mo menurunkan kapasitas panasnya, tetapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan cenderung konstan. Kapasitas panas material bahan bakar akan berpengaruh terhadap konduktivitas panasnya seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1). Konduktivitas material bahan bakar sangat diperlukan dalam rangka mendukung perhitungan manajemen teras reaktor. Oleh karena itu dengan diperolehnya data berat jenis dan kapasitas panas paduan U-7Mo-xTi, perlu diteliti lebih lanjut tentang difusifitas termalnya.

Tabel.3. Kapasitas panas paduan U-7Mo-xTi pada rentang temperatur 25-450^{o}C/10^{o}C/mnt

T,^{o}C	Sampel, Cp. J/g.K.					
	Mo	Ti	U-7Mo	U-7Mo-1Ti	U-7Mo-2Ti	U-7Mo-3Ti
54,71	0,12	0,28	0,14	0,06	0,08	0,08
75,02	0,18	0,39	0,15	0,08	0,11	0,11
95,27	0,21	0,48	0,11	0,09	0,13	0,13
115,48	0,24	0,52	0,14	0,1	0,15	0,14
135,66	0,25	0,54	0,16	0,11	0,15	0,15
155,83	0,26	0,54	0,15	0,12	0,16	0,15
175,94	0,27	0,55	0,15	0,12	0,16	0,16
196,04	0,27	0,56	0,14	0,13	0,16	0,16
216,06	0,28	0,57	0,14	0,14	0,17	0,16
236,30	0,29	0,59	0,15	0,14	0,17	0,16
256,42	0,30	0,61	0,15	0,14	0,16	0,16
276,50	0,31	0,63	0,16	0,14	0,16	0,16
296,67	0,33	0,66	0,16	0,14	0,16	0,16
316,86	0,34	0,67	0,16	0,14	0,16	0,15
336,93	0,35	0,68	0,16	0,13	0,15	0,15
356,97	0,35	0,69	0,17	0,13	0,15	0,14
377,09	0,35	0,68	0,18	0,13	0,14	0,14
397,14	0,35	0,67	0,19	0,12	0,13	0,13
417,19	0,34	0,66	0,19	0,1	0,12	0,11
437,14	0,32	0,65	0,19	0,08	0,1	0,09

IV. KESIMPULAN

1. Strukturmikro ingot paduan U-7Mo-xTi yang teramati menunjukkan bahwa pada bagian tepi terbentuk denrit, sedangkan pada bagian tengah butiran berbentuk bulat.

2. Kenaikan kadar Ti (1%, 2% dan 3%) dalam paduan U-7Mo-xTi, menunjukkan bahwa butiran pada bagian tengah paduan semakin besar berturut-turut 0,031, 0,037 dan 0,047 mm, sedangkan densitas menurun berturut-turut 17,1786, 16,7096 dan 16,2713 g/cm^3.
3. Hasil uji dengan XRD menunjukkan bahwa perbedaan unsur Ti di dalam paduan U-7Mo-xTi tidak merubah fasa yang terbentuk, puncak puncak terbentuk pada sudut difraksi yang sama, dan makin tinggi kadar Ti intensitasnya menurun.
4. Hasil uji dengan DTA paduan U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, U-7Mo-3Ti menunjukkan terjadinya reaksi endotermik pada temperatur berturut-turut 641,83 ^{o}C - 655.21^{o}C, 638,89 ^{o}C - 650.95 ^{o}C, dan 644,38 ^{o}C- 662,20 ^{o}C dengan entalpi 0.37 cal/g, 0.4328 cal/g dan 5,1021 cal/g. Entalpi tersebut kemungkinan merupakan panas yang diperlukan untuk perubahan dari fasa $\alpha + U_2Ti$ menjadi $\beta + U_2Ti$.
5. Keberadaan unsur Ti didalam paduan U-7Mo-1Ti, U-7Mo-2Ti, U-7Mo-3Ti menyebabkan kapasitas panasnya lebih rendah dibandingkan dengan paduan U-7Mo, namun dengan perbedaan kadar Ti 1%, 2% dan 3% tidak menunjukkan perbedaan kapasitas panas yang signifikan.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola program SINas Kemenristek tahun 2013 yang telah memberikan dukungan program dan dana serta rekan-rekan pegawai di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir/PTBN – BATAN yang telah berkenan berpartisipasi dalam penelitian ini. Semoga tulisan ini bermanfaat untuk pengembangan bahan bakar dispersi untuk reaktor riset di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

1. Roberth. Perry, (1984), Perry's Chemical Engineers' Handbook, sixt edition.
2. John Thomas Creacy, (2011), Thermal Properties Of Uranium-Molybdenum Alloys Phase Decomposition Effect Of Heat Treatment, Thesis, Master Of Science, Texas A &M University.
3. Luis Olivares, Jorge Marin, Morio Barrera, Gonzalo Torres and Jaime Lisboa, (2007), Nuclear Fuel Development Based On U-Mo alloys Under Irradiation Evaluation Of LEU U_3Si_2-4,8gU/cm^3 Test Fuel, RERTR, Prague, Czech Republic.
4. Jong Man Park, Ho Jin Ryu, Jae Soon Park, Seok Jin Oh, Chang Kyu Kim, Yeon Soo Kim, Gerald.L. Hofman, (2007), Phase Stability of UMoTi Alloys and Interdiffusion Behaviors of UMoTi/AlSi, The RERTR-2007 International Meeting on RERTR, Prague, Czech Republic.
5. M. Cornen., M.Rodier, X.Iltis, S. Dubois, P. Lemoine, (2008), About the Effects of Si and/or Ti Additions On the UMo/Al Interactions, RRFM, Hamburg, Germany.
6. S.H. Lee, J.M.Park, and C.K. Kim, (2007), Thermophysical Properties of U-Mo/Al Alloy Dispersion Fuel Meats, International Journal of Themophisics, Vol 28, No.5.
7. Supardjo, Hadi Suwarno, dan Agoeng Kadarjono, (2009), Karakteristik paduan U-7%Mo dan U-7%Mo-x%Si (x = 1, 2, dan 3%) hasil proses peleburan dalam tungku busur listrik, Urania, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol 15 No.4.
8. Aslina Br. Ginting, Supardjo, Agoeng Kadarjono, dan Dian Anggraini, (2011), Pengaruh Kandungan Molibdenum Terhadap perubahan Fasa, Dan kapasitas Panas Ingot paduan UMo, Urania, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol 17 No.2.

ISSN 1907 – 2635
416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
(Masa berlaku Akreditasi s/d April 2015)

9. O.S.Ivanov, T.A. Badaeva, R.M. Sofronova, V.B. Kishenevskii, N.P. Kushnir (1983), Phase Diagram of Uranium Alloys, Amerind Publishing co.

10. Aslina Br. Ginting, Masrukan, dan M. Husna Al Hasa, (2007), Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Termal Paduan U-Zr Dengan Variasi Kandungan Zr, Urania, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, vol 13 No.3.