



KAJIAN TERHADAP U-Mo SEBAGAI KANDIDAT BAHAN BAKAR BARU BERDENSITAS TINGGI

M.Husna Al Hasa

Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang

ABSTRAK

KAJIAN TERHADAP U-Mo SEBAGAI KANDIDAT BAHAN BAKAR BARU BERDENSITAS TINGGI. Pengembangan bahan bakar baru dikaji guna mencari bahan bakar yang memiliki densitas tinggi dan stabil terhadap pengaruh termal dan iradiasi. Kajian dalam makalah ini meliputi analisis struktur fasa, densitas, stabilitas termal fasa γ metastabil U-Mo pada berbagai kadar % berat Mo dan kompatibilitas termal U-Mo dengan matriks aluminium. Hasil kajian menunjukkan bahwa struktur fasa γ U-Mo yang relatif stabil diperoleh pada U-9%Mo dan U-10%Mo, sedangkan U-2%Mo dan U-5%Mo relatif tidak stabil. Fasa γ U-2%Mo dan U-5%Mo cenderung bertransformasi ke keadaan kesetimbangan masing-masing kembali terurai menjadi fasa $\alpha+\delta$ dan $\alpha+\gamma$. Kompatibilitas termal U-9%Mo dan U-10%Mo dengan aluminium matriks relatif baik. Densitas uranium U-Mo menurun seiring dengan meningkatnya kadar Mo.

ABSTRACT

STUDY ON U-Mo FUEL AS A NEW CANDIDATE OF HIGH DENSITY FUEL. The development of new fuel is studied in order to search fuels which have high density and stability against irradiation and thermal influence. The study focuses on thermal and irradiation stability over analyses on the phase structure, the density, the thermal stability in the γ -phase of metastable U-Mo at various Mo compositions, and thermal compatibility of U-Mo with the aluminium matrix. The study shows that the γ -phase of U-9%Mo and U-10%Mo is relatively stable, while that of U-2%Mo and U-5%Mo is relatively unstable, and tends to transform into an equilibrium state and dissolve into $\alpha+\delta$ and $\alpha+\gamma$ phases. Good thermal compatibility is indicated by U-9%Mo and U-10%Mo. U-Mo density, on the other hand, decreases with increasing Mo content.

PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar baru bertingkat muat tinggi terus dikaji dengan mencari bahan bakar yang memiliki densitas tinggi dan stabil terhadap iradiasi. Bahan bakar berupa uranium dengan unsur pepadu utama yang menghasilkan daerah fasa γ relatif besar memungkinkan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap dampak yang ditimbulkan oleh pengaruh iradiasi^[1]. Beberapa kandidat bahan bakar berdensitas tinggi yang memiliki kecenderungan membentuk fasa gamma antara lain, U-Cr, U-Zr, U-Ti, U-V, U-Re, U-Ru, U-Nb dan U-Mo^[2,3]. Paduan yang relatif memiliki lebih besar daerah fasa gamma dan relatif stabil terhadap pengaruh iradiasi terutama adalah U-Mo. Fasa γ dari paduan U-Mo ini memiliki sifat yang baik terhadap iradiasi karena berstruktur sel-satuan BCC (*Body Centered Cubic*). Fasa γ pada paduan U-Mo memiliki kemampuan larut padat lebih besar, dimana Mo akan larut kedalam struktur kristal γ -U. Fasa γ ini dipertahankan sampai pada suhu kamar, suhu operasi fabrikasi dan suhu operasi reaktor. Selain itu U-Mo memiliki penampang serapan neutron yang relatif rendah, *compatibility* termal dengan Al

matriks relatif baik, stabilitas mikrostruktur pada fasa γ relatif baik, irradiation swelling relatif rendah, meskipun pada *burnup* tinggi, pengaruh *thermal-cycling growth* terhadap perubahan dimensi relatif rendah^[4].

Paduan U-Mo yang memiliki kelebihan seperti tersebut di atas perlu dilakukan pengkajian dan penelitian lebih lanjut. Kajian ini dimaksudkan untuk melakukan pengembangan bahan bakar U-Mo sebagai kandidat bahan bakar reaktor riset berdensitas tinggi. Pengembangan bahan bakar U-Mo ini bertujuan untuk menaikkan tingkat muat uranium dan kandungan U-235. Peningkatan tingkat muat U dan jumlah berat U-235 pada bahan bakar U-Mo ini tetap masih berada dalam batas pengkayaan uranium rendah di bawah 20 % yang mengacu kepada program RERTR (*Reduced Enrichment for Research and Test Reactors*).

Paduan U-Mo dalam berbagai komposisi kadar % berat Mo dilakukan analisis densitas dan struktur fasanya, karena densitas uranium yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kadar Mo di dalam paduan. Sementara itu, struktur fasa paduan U-Mo sebelum mengalami proses perlakuan panas, mempunyai struktur sel satuan

ortorombik berupa fasa $\alpha+\delta$. Fasa $\alpha+\delta$ ini dikondisikan menjadi fasa γ metastabil dengan selsatuan berstruktur BCC, melalui proses perlakuan panas. Kondisi fasa γ metastabil dari U-Mo hasil aniling pada suhu 400°C dilakukan analisis berdasarkan pola difraksi sinar x. Stabilitas termal fasa γ metastabil U-Mo dan kompatibilitas paduan U-Mo dengan matriks Al dianalisis melalui hasil aniling U-2%Mo, U-5%Mo, U-9%Mo dan U-10%Mo yang mengalami pemanasan pada suhu 400°C pada berbagai variasi waktu pemanasan. Reaksi yang terjadi antara uranium dengan matriks aluminium diamati melalui mikrostruktur fasa γ U-Mo yang mengalami pemanasan selama 72 jam pada suhu 400°C.

Kajian terhadap U-Mo pada berbagai kadar % berat Mo dalam paduan meliputi analisis struktur fasa γ U-Mo metastabil, stabilitas termal fasa γ U-Mo, kompatibilitas termal U-Mo dengan matriks aluminium, dan densitas uranium pada U-Mo. Pada kesempatan ini pengkajian terhadap stabilitas termal dan kompatibilitas termal akibat pengaruh pemanasan pada suhu 400°C dibatasi terutama untuk U-2%Mo, U-5%Mo, U-9%Mo dan U-10%Mo.

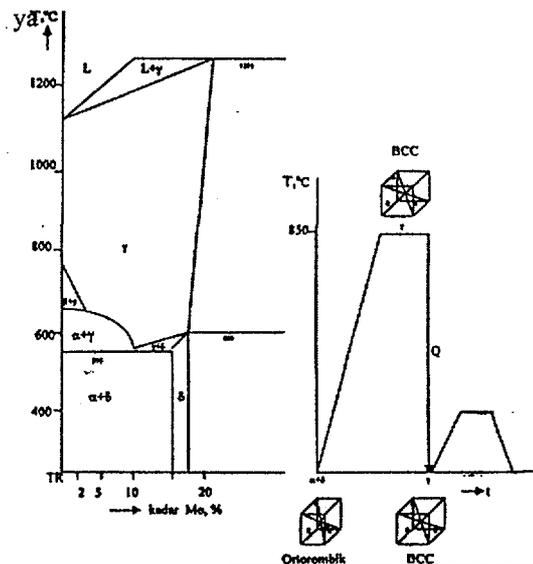
TATA KERJA

Kajian terhadap densitas uranium dalam paduan U-Mo dilakukan pada berbagai komposisi kadar % berat Mo, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Kajian struktur selsatuan paduan U-Mo dari fasa $\alpha+\delta$ berstruktur ortorombik menjadi fasa γ berstruktur BCC didapat dengan proses perlakuan panas, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Kondisi fasa γ metastabil dari U-Mo hasil aniling pada suhu 400°C dianalisis berdasarkan pola difraksi sinar x, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Stabilitas termal fasa γ metastabil U-Mo dan kompatibilitas paduan U-Mo dengan matriks Al dianalisis melalui hasil aniling U-2%Mo, 5%Mo, 9%Mo dan U-10%Mo yang mengalami pemanasan pada suhu 400°C pada berbagai variasi waktu pemanasan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.

HASIL DAN BAHASAN

Densitas kandidat bahan bakar U-Mo pada berbagai komposisi kadar % berat Mo ditunjukkan pada tabel 1. Hubungan densitas uranium terhadap kadar Mo dalam paduan

diperlihatkan pada Gambar 2. Kestabilan fasa γ U-Mo dan stabilitas dimensi terhadap pengaruh termal ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3. Pola difraksi U-Mo fasa γ hasil pemanasan pada suhu 400°C ditunjukkan pada Gambar 3.

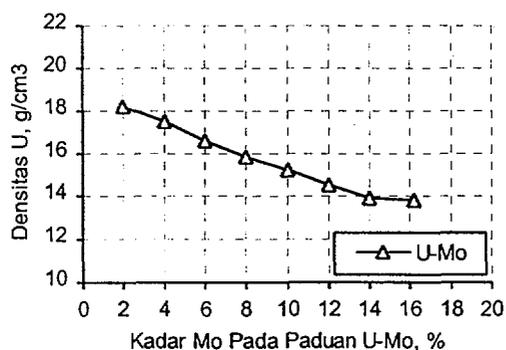


Gambar 1. Skematis proses *heat-treatment* fasa γ metastabil berstruktur kristal BCC

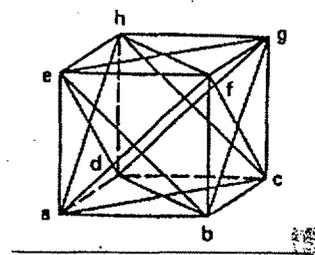
Densitas uranium dari U-Mo sangat dipengaruhi oleh kadar Mo dalam paduan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 2. Pada Gambar 2 diperlihatkan hubungan densitas uranium pada U-Mo sebagai fungsi kandungan persentase berat Mo dalam paduan. Dari Gambar 2 tampak bahwa semakin tinggi kadar Mo menyebabkan semakin menurun densitas uranium dari paduan. Hal ini karena fasa α semakin berkurang dan fasa δ yang terbentuk semakin besar seiring dengan semakin tinggi kadar Mo. Fasa δ berupa senyawa U_2Mo dengan bentuk struktur selsatuan tetragonal mempunyai parameter kisi relatif lebih besar daripada fasa α . Dengan demikian fasa δ memiliki volume relatif lebih besar dibandingkan dengan fasa α berstruktur orthorhombic. Sebagai akibatnya densitas uranium U-Mo mengalami penurunan dengan semakin tingginya kadar Mo dalam paduan.

Paduan U-Mo seperti ditunjukkan pada Tabel 1 yang akan digunakan sebagai calon bahan bakar dikondisikan menjadi U-Mo berfasa γ . Ketahanan fasa γ U-Mo terhadap pengaruh termal dikaji lebih jauh terutama dibatasi hanya untuk U-2%Mo, U-5%Mo, U-9%Mo dan U-10%Mo. Selsatuan fasa γ U-Mo berstruktur BCC merupakan fasa

yang memiliki luas daerah yang relatif besar dan memiliki batas kemampuan larut padat yang tinggi. Fasa γ U-Mo dapat dipertahankan sampai suhu kamar melalui proses perlakuan panas yang menghasilkan fasa γ metastabil dengan selsatuan berstruktur BCC pula. Fasa γ hasil perlakuan panas ini relatif stabil karena logam Mo dalam paduan uranium memiliki potensi menstabilkan fasa γ tersebut. Fasa γ semakin stabil dengan semakin tinggi kadar Mo dalam paduan [5]. Hal ini karena peningkatan kadar Mo akan memperkecil atau menghilangkan perbedaan koefisien ekspansi termal dan tegangan antar butiran sehingga keadaan struktur butir relatif isotropi. Fasa γ berstruktur BCC memiliki kerapatan atom relatif rendah dan jarak bidang-bidang atom terhadap satu sama lainnya berdekatan. Hal ini menyebabkan selsatuan BCC memiliki ikatan atom yang relatif kuat sehingga sukar mengalami slip, yaitu pergeseran atau perpindahan atom ke posisi lain. Struktur BCC memiliki bidang slip $\{110\}$ dengan arah slip $\langle 111 \rangle$. Gambar 3 memperlihatkan enam bidang slip pada struktur BCC, yaitu abgh, degc, afgd, ebch, egca dan hfgd. Kesemua bidang slip tersebut memiliki kerapatan atom relatif sama dan tidak memiliki bidang susunan rapat yang kerapatan atomnya paling tinggi. Dengan demikian struktur BCC tidak mempunyai bidang slip tunggal yang memiliki bidang kerapatan atom paling tinggi dan jarak bidang-bidang atom yang saling berjauhan. Kondisi struktur BCC seperti ini memungkinkan sukar terjadinya mekanisme slip yang memacu terjadinya deformasi mikro yang memberi dampak terhadap perubahan parameter kisi yang akan berpengaruh terhadap perubahan struktur fasa.



Gambar 2. Hubungan densitas uranium terhadap kadar Mo pada paduan U-Mo



Enam bidang slip $\{110\}$: abgh, degc, afgd, ebch, egca, hfgd

Gambar 3. Struktur selsatuan BCC

Stabilitas termal

Stabilitas termal U-Mo sangat tergantung pada kandungan Mo dalam paduan. Makin tinggi kadar Mo dalam paduan semakin meningkatkan kestabilan fasa γ terhadap pengaruh termal [6,7,8]. Paduan U-Mo dengan kadar 2 % Mo dan 5 % Mo merupakan kandidat bahan bakar yang kurang baik ditinjau dari sisi stabilitas termal meskipun densitas yang dimiliki relatif tinggi. Paduan U-2%Mo dan U-5%Mo tidak mampu bertahan lama pada kondisi fasa γ metastabil bila mengalami pemanasan pada suhu dan waktu tertentu. Fasa γ metastabil U-2%Mo akan bertransformasi kembali ke keadaan kesetimbangan menjadi fasa $\alpha+\delta$ bila dikenai pemanasan pada suhu 400 °C [6,7]. Sementara itu, fasa γ metastabil U-5%Mo setelah mengalami pemanasan pada suhu 400 °C selama 72 jam cenderung kembali mendekati ke keadaan kesetimbangan menjadi fasa $\alpha+\gamma$. Hal ini tampak pada pola difraksi sinar x yang diperlihatkan pada Gambar 4. Gambar 4a memperlihatkan bahwa pola difraksi memiliki puncak fasa γ dan puncak fasa α . Selain itu, fasa α memiliki kemampuan larut padat yang sangat rendah dengan Mo.

Paduan U-Mo dengan kadar 9%Mo yang dikenai pemanasan pada suhu 400°C selama 72 jam tampak relatif stabil terhadap termal. Paduan U-Mo tidak terjadi perubahan fasa, yaitu tetap pada kondisi fasa γ . Hal ini terbukti seperti terlihat pada pola difraksi sinar x yang ditunjukkan pada Gambar 4b. Pada Gambar 4b tampak bahwa pola difraksi hanya memiliki puncak fasa γ dengan masing-masing bidang hkl 110, 200 dan 211 yang muncul pada sudut 2θ di 37°, 53°, dan

66 °. Selain itu, Tabel 2 dan 3 memperlihatkan pula bahwa U-10%Mo relatif stabil terhadap pengaruh termal dan tidak mengalami perubahan dimensi yang berarti hingga pemanasan selama 2000 jam.

Kompatibilitas termal

Paduan U-Mo berkadar 2 % , dan 5% Mo yang dipanaskan pada suhu 400°C dengan waktu pemanasan tertentu mengalami interdifusi uranium dan aluminium, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Paduan U-Mo dengan kadar 2% dan 5% Mo terjadi reaksi antara uranium dengan aluminium matriks membentuk senyawa UAl_3 [6,7,8]. Mikro-struktur U-Mo yang mengalami difusi Al ditunjukkan pada Gambar 5. Pembentukan senyawa logam ini terutama dipacu oleh uranium yang berdifusi akibat terjadi perubahan fasa, yaitu dari fasa γ metastabil menjadi fasa $\alpha+\delta$ untuk U-2%Mo dan $\alpha+\gamma$ untuk U-5%Mo, seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Interdifusi uranium dan aluminium terjadi relatif sangat cepat yang mengakibatkan sebagian kecil uranium mengikat matriks aluminium, sedangkan sebagian yang lain membentuk senyawa U_2Mo [8]. Difusi aluminium kedalam struktur fasa α mengakibatkan terjadi kenaikan pembentukan porositas. Semakin meningkat porositas mengakibatkan volume menjadi meningkat. Hal ini tampak pada U-2%Mo yang mengalami pemanasan pada suhu 400°C yang ditunjukkan pada tabel 2. Perubahan dimensi U-Mo setelah mengalami pemanasan pada suhu 400°C yang ditunjukkan pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa semakin lama waktu pemanasan mengakibatkan semakin besar terjadi perubahan volume. Perubahan volume untuk U-2%Mo semakin meningkat setelah mengalami pemanasan di atas 350 jam. Hal ini karena pada bahan bakar U-2%Mo sebagian Al matriks yang dimiliki berdifusi dan fasa γ bertransformasi menjadi fasa $\alpha+\delta$. U-10%Mo relatif stabil tidak mengalami perubahan volume yang berarti hanya mengalami sedikit pengkerutan (*shrinkage*) meskipun pemanasan sampai 2000 jam. Hal ini karena U-10%Mo dalam keadaan stabil

tidak mengalami perubahan akibat pengaruh termal dan kondisi struktur fasa tetap stabil dalam kondisi fasa γ .

Tabel 1. Densitas U-Mo pada berbagai komposisi kadar % Berat Mo

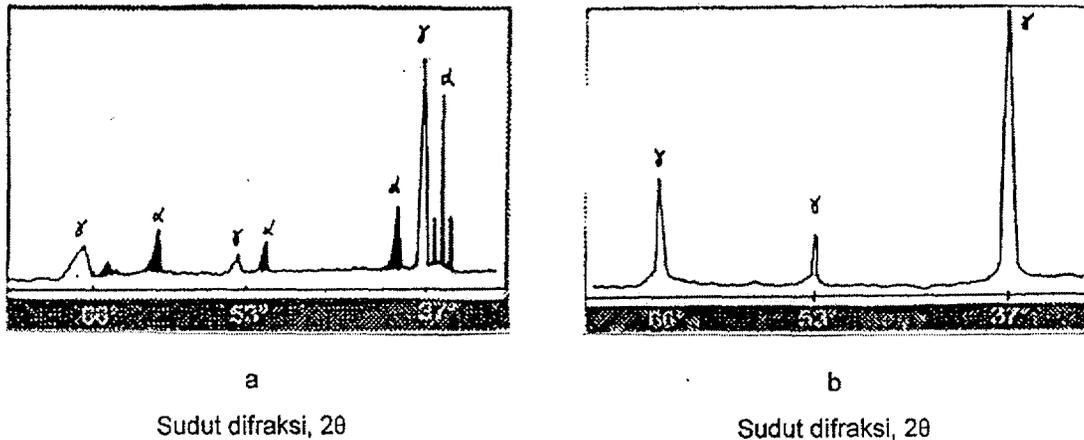
% Berat Mo	%Fasa		Densitas, ρ g/cm^3	
	α	δ	U-Mo	U
U-2Mo	90,4	9,6	18,8	18,3
U-3Mo	84,1	15,9	18,6	17,8
U-4Mo	77,7	22,3	18,5	17,5
U-5 Mo	71,3	28,7	18,3	17
U-6 Mo	65	35	18,1	16,6
U-7 Mo	58,6	41,4	17,9	16,2
U-8 Mo	52,2	47,8	17,7	15,8
U-9 Mo	45,8	54,2	17,6	15,5
U-10 Mo	39,5	60,5	17,4	15,2
U-11 Mo	33,1	66,9	17,3	14,9
U-12 Mo	21,6	78,4	16,9	14,5
U-13 Mo	12,5	87,5	16,8	14,2
U-14 Mo	5,9	94,1	16,5	13,9
U-15 Mo	1,8	98,2	16,4	13,8
U-16,2 Mo	-	100	16,4	13,8

Tabel 2. Bahan bakar U-Mo pada kondisi fasa γ metastabil yang mengalami pemanasan pada suhu 400°C [6,7,8]

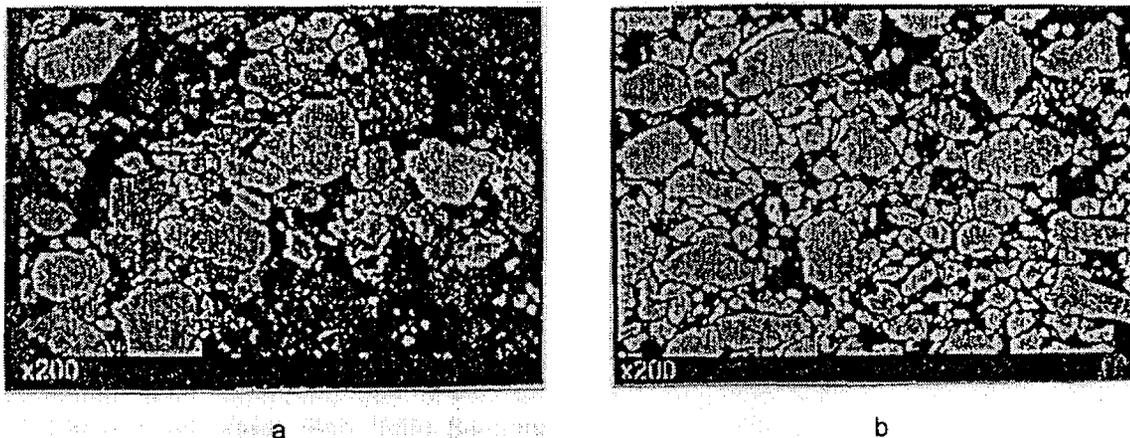
Bahan bakar U-Mo	Reaksi termal	Stabilitas termal	Kompatibilitas	Kondisi Fasa
U-2%Mo	Difusi dengan Al	Tidak stabil	Tidak	$\alpha+\delta$
U-5%Mo	Difusi dengan Al	Tidak stabil	Tidak	$\alpha+\gamma$
U-9%Mo	Stabil	Stabil	Ya	γ
U-10%Mo	Stabil	Stabil	Ya	γ

Tabel 3. Perubahan dimensi U-Mo setelah mengalami pemanasan pada suhu 400 °C [7].

Waktu (h)	U-2%Mo		U-10%Mo	
	Δl	Δv	Δl	Δv
40	-0,03	-0,63	-0,02	-0,014
107	0	-0,46	-0,14	-0,24
350	+0,19	0,31	0,07	-0,07
1000	+1,83	+2,61	-1,04	-4,08
2000	+4,28	+26,00	-0,12	-0,34



Gambar 4. Pola difraksi U-Mo fasa γ metastabil yang dianil pada suhu 400°C selama 72 jam. a) U-5%Mo, b) U-9%Mo^[6].



Gambar 5. Mikro-struktur fasa γ U-Mo yang mengalami pemanasan pada suhu 400°C selama 72 jam. a) U-5%Mo yang mengalami difusi Al, b) U-10%Mo yang tidak ada difusi Al.^[8]

SIMPULAN

Hasil kajian ini menginformasikan bahwa bahan bakar U-Mo memiliki densitas relatif tinggi di atas 15 g/cm^3 yang akan mampu meningkatkan tingkat muat U dan menghasilkan fluks neutron menjadi lebih besar. Bahan bakar U-Mo yang layak untuk dipertimbangkan sebagai bahan bakar maju dimasa mendatang adalah U-9%Mo atau U-10%Mo. U-9%Mo dan U-10%Mo menghasilkan selsatuan fasa γ berstruktur BCC yang stabil tidak mengalami transformasi fasa pada suhu operasi fabrikasi dan suhu operasi reaktor, U-9%Mo dan U-10%Mo memiliki kompatibilitas termal relatif baik dan memiliki ketahanan iradiasi.

PUSTAKA

- [1]. MEYER, MK., TTRYBUS, C.L., *Selection and Microstructures of High Density Uranium Alloys*, Proceedings the 20th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, USA, 1997
- [2]. THADDEUS B. MASSALSKI, *Binary Alloy Phase Diagrams*, Second Edition, Volume 3, USA, 1992.
- [3]. SNELGROVE, J.L., HOFMAN, G.L., TRYBUS, C.L., WIENCEK, T. C., *Development of very-high-density fuels by the RERTR program*, ANL, Illinois, 1996

- [4]. BENJAMIN M.MA, Nuclear Reactor Materials and Applications, VNR Company Inc, USA, 1983.
- [5]. AL HASA, M.HUSNA, Prospek Bahan Bakar Maju U-Mo Berdensitas Tinggi Sebagai Bahan Bakar Reaktor Riset, Prosiding Daur Bahan Bakar Nuklir, Jakarta, 1998.
- [6]. DURAND, JP., OTTONE, JC., MAHE, M., FERRAZ, G. *LEU Fuel Development At CERCA*, Proceedings the 21th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, Sao Paulo, 1998
- [7]. Ki Hwan Kim, Don Bae Lee, Chang Kyu Kim, Hofman, G.L., Kyung Wook Paik, Jurnal Nuclear Engineering And Design, 1997.
- [8]. DURAND, JP., LAVASTRE, Y., GRASSE, M. *Preliminary Developments Of MTR Plate With UMo Fuel*, Proceedings the 20th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors, USA, 1997.

TANYA JAWAB

Fathurrachman

- Mengapa fase γ dari paduan U-Mo yang paling baik dipilih dibandingkan dengan fase α dan fase β ? Bagaimana prospek pungut U dari kegagalan U-Mo setelah difabrikasi? Perlu diketahui bahwa pemungutan U dari kegagalan U_3Si_2 cukup sulit dilakukan.

Husna Al Hasa

- Fasa γ dipilih karena fasa γ U-Mo berstruktur sel satuan BCC merupakan fasa yang memiliki luas daerah yang relatif besar dan memiliki batas kemampuan larut padat yang tinggi. Selain itu, fasa γ berstruktur sel satuan BCC ini memiliki ikatan atom relatif kuat dan tidak memiliki bidang slip tunggal dengan kerapatan atom paling tinggi sehingga memungkinkan sekali terjadi mekanisme slip. Kondisi yang demikian ini memungkinkan stabilitas mikrostruktur fasa γ relatif baik terhadap pengaruh termal dan iradiasi.
- Mengenai prospek pungut U dari kegagalan U-Mo setelah fabrikasi memerlukan penelitian lebih lanjut.

Suwardi

- Apakah fase γ yang diperoleh sebagai sisa?
- Selain diagram kesetimbangan, diperlukan pula diagram transformasi non-equilibre, dapatkah diceritakan, batasan T, dT/dx , C_{MC} hingga didapat γ metastabil tersebut.

Husna Al Hasa

- Fasa γ yang diperoleh dari proses perlakuan panas menghasilkan seluruhnya fasa γ metastabil berstruktur sel satuan BCC.
- Untuk memperoleh γ metastabil selain faktor suhu dan waktu juga dipengaruhi oleh kandungan unsur padamu Mo. Daerah fasa γ mulai suhu terendah 575^oC hingga suhu tertinggi 1285^oC dan ini sangat berkaitan dengan persentase kadar unsur padamu Mo. Pembentukan fasa γ metastabil dapat dilakukan pada kadar unsur padamu 2-15% Mo dengan suhu 900^oC dan kemudian dilanjutkan dengan pendinginan cepat.

Erlan Dewita

- Apakah kelebihan U-Mo bila dibandingkan dengan U_3Si_2 yang sekarang ini sudah dikembangkan dan bahkan sudah diproduksi di beberapa negara?
- Apakah sudah pernah dilakukan uji pasca iradiasi di negara lain?

Husna Al Hasa

- Kelebihan U-Mo dibandingkan dengan U_3Si_2 terutama adalah densitas u-Mo lebih tinggi. Bahan bakar U-Mo berdensitas relatif tinggi ini akan mampu meningkatkan tingkat muat U yang berpotensi menghasilkan fluks neutron menjadi lebih besar dan burn-up nya semakin tinggi.
- Uji pasca iradiasi baru dilakukan dalam tahap uji coba skala laboratorium.

Tumpal P

- Bagaimana perbedaannya dengan densitas bahan bakar lainnya?
- Bahan bakar tersebut bersifat metastabil. Bagaimana pengaruhnya setelah dipakai dalam waktu yang lama dan temperatur tinggi?
- Bagaimana sifat mekanik dan neutroniknya?
- Apa yang menjadi kendala yang berarti dan bagaimana mengantisipasinya?

- Bagaimana sifat thermalnya?

Husna Al Hasa

- Perbedaan densitas dengan bahan bakar lainnya adalah densitas U-Mo relatif lebih tinggi dibandingkan dengan densitas U_3O_8 dan U_3Si_2 .
- Bahan bakar U-Mo terutama U-9%Mo dan U-10%Mo relatif stabil pada suhu tinggi (misal pada suhu $400^{\circ}C$ selama 2000 jam).
- U-Mo memiliki sifat mekanik dan neutronik relatif baik.
- Bahan bakar U-Mo ini masih dalam penelitian dan belum mendapatkan kendala yang berarti.
- U-Mo memiliki sifat thermal relatif baik.

Nusin Samosir

- Bagaimana pengaruh kenaikan kandungan Mo dalam U-Mo terhadap kekerasan dan homogenitas meat U-Mo dalam matriks Al pada saat fabrikasi?

Husna Al Hasa

- Pengaruh kandungan Mo dalam U-Mo cenderung akan meningkatkan kekerasan bahan, sedangkan homogenitas meat U-Mo dalam material Al pada saat fabrikasi perlu diamati dan dianalisa lebih lanjut.