

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No. 1

Februari 2016



X-Ray Difraktometer

**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSAT TEKNOLOGI BAHAN BAKAR NUKLIR**

Urania	Vol. 22	No. 1	Hal : 1 - 64	Serpong Februari 2016	ISSN 0852 – 4777
--------	---------	-------	--------------	--------------------------	------------------

URANIA

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No.1, Februari 2016

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir URANIA adalah wahana informasi tentang Daur Bahan Bakar Nuklir yang berisi hasil penelitian, pengembangan, dan tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali pada tahun 1995 dengan frekuensi terbit sebanyak empat kali dalam satu tahun yakni pada bulan Januari, April, Juli, dan Oktober. Sementara itu, mulai tahun 2011 Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" terbit tiga kali dalam satu tahun, yaitu pada bulan Februari, Juni dan Oktober.

Penanggung Jawab

Kepala PTBBN

Penasehat

Komisi Pembina Tenaga Fungsional

Pemimpin Dewan Redaksi Merangkap Penyunting Ahli

Ir. Aslina Br. Ginting (Teknik Kimia, BATAN)

Pemimpin Redaksi Pelaksana Merangkap Penyunting Ahli

Ir. Masrukan, MT (Teknik Material, BATAN)

Penyunting Ahli

Ir. M. Husna Al Hasa, M.T (Metalurgi, BATAN)

Prof. Dr. Sigit (Kimia, BATAN)

Ir. Futichah, M.T (Metalurgi, BATAN)

Dr. Jan Setiawan (Material, BATAN)

Ir. Ety Mutiara, M. Eng (Teknik Kimia, BATAN)

Ir. Supardjo, M.T (Teknik Material, BATAN)

Penyunting Mitra Bestari

Prof. Dr. Ir. Agus Taftazani (Kimia Lingkungan, BATAN)

Dr. Azwar Manaf, M. Met (Universitas Indonesia)

Ir. Tagor Malem Sembiring (Fisika Reaktor, BATAN)

Prof. Dr. Yanni Sudiyani (Biologi Lingkungan, LIPI)

Prof. Drs. Surian Pinem, M.Si (Material, BATAN)

Ir. Rudi Setya Wahjudi, M.T (Instrumentasi, USAKTI)

Pemeriksa Naskah

Yanlinastuti, S.Si

Waringin Margi Yusmaman, S.ST

Sekretaris

Dwi Agus Wrihatno, S.Kom

Penerbit

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), BATAN

Alamat Redaksi

PTBBN, BATAN

Kawasan Puspipstek Serpong 15314

Telp. 021-756-0915

Faks. 021-756-0909

E-mail : ptbn@batan.go.id; mhalhasa@yahoo.com, masrukan2006@yahoo.com

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No. 1

Februari 2016



X-Ray Difraktometer

**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSAT TEKNOLOGI BAHAN BAKAR NUKLIR**

Urania	Vol. 22	No. 1	Hal : 1 - 64	Serpong Februari 2016	ISSN 0852 – 4777
--------	---------	-------	--------------	--------------------------	------------------

PENGANTAR REDAKSI

Sidang Pembaca Yang Terhormat,

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah SWT serta atas rahmat dan karuniaNya, Jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" volume 22 No.1 dapat hadir ke hadapan pembaca. Jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir terbit secara periodik setiap empat bulan sekali mulai tahun 2011. Periode penerbitan berturut-turut, yaitu periode Februari, Juni dan Oktober.

Penerbitan edisi kali ini mengemukakan beberapa topik hasil kegiatan penelitian yang berkenaan dengan kegiatan daur bahan bakar nuklir.

Topik pertama dalam jurnal ini mengetengahkan masalah teknologi bahan reaktor riset yang ditulis dengan judul Pengaruh Temperatur Dan Irradiasi Terhadap Interdifusi Partikel Bahan Bakar Jenis U-7Mo/Al. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya *interaction layer* yang disebabkan oleh interdifusi atau *diffusion couple* paduan U-7Mo dengan pelat AlMg₂ yang dipanaskan pada temperatur 500°C dan 550°C selama 24 jam dalam tungku *arc furnace* dan tungku DTA pada temperatur 30°C hingga 1400°C. Makalah berikutnya menampilkan tulisan dengan judul Pengaruh Unsur Zr Terhadap Perubahan Sifat Termal Bahan Bakar Dispersi U-7Mo-xZr/Al. Tujuan penambahan unsur Zr pada penelitian adalah untuk meningkatkan stabilitas panas bahan bakar UMo. Analisis termal meliputi penentuan temperatur lebur, entalpi, dan perubahan fasa dilakukan menggunakan *Differential Thermal Analysis (DTA)* pada rentang temperatur antara 30°C hingga 1400°C, sedangkan kapasitas panas paduan U-7Mo-xZr dan bahan bakar dispersi U-7Mo-xZr/Al menggunakan *Differential Scanning Calorimeter (DSC)* hingga temperatur 450°C.

Topik kedua membahas masalah yang berkaitan dengan teknologi bahan bakar reaktor daya yang menampilkan tulisan dengan judul Pengaruh Proses *Sintering* Terhadap Perubahan Densitas, Kekerasan Dan Mikrostruktur Pelet U-ZrH_x. Proses *sintering* pelet bahan bakar U-ZrH_x dilakukan untuk memperoleh densitas yang lebih tinggi dari pelet sebelum disinter. Dibuat pelet U-ZrH_x dengan kandungan Zr berturut-turut sebesar 35%, 45% dan 55% berat dan disinter selama 1 jam pada variasi temperatur 1100°C, 1200°C dan 1300°C dengan laju kenaikan temperatur 2°C/menit, dan diturunkan temperaturnya dengan laju penurunan temperatur 10°C/menit hingga temperatur kamar. Pelet U-ZrH_x yang telah disinter diuji, antara lain: densitas, kekerasan, dan mikrostruktur. Tulisan berikutnya masih berkaitan dengan teknologi bahan bakar reaktor daya yang ditulis dengan judul Perbandingan Densitas Pelet UO₂ Hasil Peletisasi Menggunakan Serbuk Dan Mikrospir UO₂. Proses peletisasi mikrospir UO₂ dan serbuk UO₂ dilakukan dengan memvariasikan tekanan kompaksi antara 200MPa hingga 500MPa dan disinter pada temperatur 1100°C selama 6 jam dalam suasana campuran gas hidrogen dan nitrogen. Makalah berikutnya masih berkaitan dengan reaktor daya ditulis dengan judul Pelapisan Permukaan Pelet UO₂ Dengan Zirkonium Diborida Menggunakan Metoda *Sputtering*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakter lapisan zirkonium diborida pada permukaan pelet UO₂ yaitu mikrostruktur, struktur kristal dan komposisi kimia. Makalah terakhir dan masih berkaitan dengan reaktor daya ditulis dengan judul Analisis Inventori Reaktor Daya Eksperimental Jenis Reaktor Gas Temperatur Tinggi. Analisis sebaran radionuklida dari reaktor ke lingkungan pada kondisi operasi normal atau abnormal diawali dengan estimasi sumber radionuklida di teras reaktor (inventori teras) berdasarkan pada tipe, daya, dan operasi reaktor.

Akhir kata, semoga jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" ini bermanfaat bagi masyarakat Indonesia umumnya dan khususnya bagi pengembangan IPTEK Daur Bahan Bakar Nuklir. Selamat menyimak

Februari, 2016
DEWAN REDAKSI

URANIA

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No. 1, Februari 2016

DAFTAR ISI

Pengantar Redaksi	:	i
Daftar Isi	:	ii
Pengaruh Temperatur Dan Iradiasi Terhadap Interdifusi Partikel Bahan Bakar Jenis U-7Mo/Al	:	1 – 12
(Maman Kartaman A, Aslina Br. Ginting, Supardjo, Boybul)		
Pengaruh Unsur Zr Terhadap Perubahan Sifat Termal Bahan Bakar Dispersi U- 7Mo-xZr/Al	:	13 – 24
(Supardjo, Agoeng Kadarjono, Boybul, Aslina Br. Ginting)		
Pengaruh Proses Sintering Terhadap Perubahan Densitas, Kekerasan Dan Mikrostruktur Pelet U-ZrHx	:	25 – 34
(Masrukan, Mujinem)		
Perbandingan Densitas Pelet UO ₂ Hasil Peletisasi Menggunakan Serbuk Dan Mikrospir	:	35 – 42
(Etty Mutiara, Meniek Rachmawati, Masrukan)		
Pelapisan Permukaan Pelet UO ₂ Dengan Zirkonium Diborida Menggunakan Metoda <i>Sputtering</i>	:	43 - 52
(Sungkono, Tri Mardji Atmono, Dwi Priyantoro)		
Analisis Inventori Reaktor Daya Eksperimental Jenis Reaktor Gas Temperatur Tinggi	:	53 - 64
(Sri Kuntjoro, Pande Made Udiyani)		

ABSTRAK

Maman Kartaman A, Aslina B. Ginting, Supardjo, Boybul, (2016), Pengaruh Temperatur Dan Iradiasi Terhadap Interdifusi Partikel Bahan Bakar Jenis U-7Mo/Al, Vol. 22 No. 1, hal. 1.

PENGARUH TEMPERATUR DAN IRADIASI TERHADAP INTERDIFUSI PARTIKEL BAHAN BAKAR JENIS U-7Mo/Al. Paduan U-7Mo/Al memiliki potensi besar sebagai bahan bakar reaktor riset, tetapi bahan bakar ini memiliki beberapa kekurangan antara lain dapat membentuk *interaction layer* pada antarmuka pada saat proses fabrikasi maupun iradiasi di reaktor melalui mekanisme difusi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui terjadinya *interaction layer* yang disebabkan oleh interdifusi atau *diffusion couple* paduan U-7Mo dengan pelat AlMg₂ yang dipanaskan pada temperatur 500 °C dan 550 °C selama 24 jam dalam tungku *arc furnace* dan tungku DTA pada temperatur 30 °C hingga 1400 °C. Hasil pengamatan mikrostruktur menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada sampel *diffusion couple* hasil pemanasan pada temperatur 500 °C belum terlihat adanya *interaction layer* atau pembentukan fasa baru antara partikel U-Mo dan matriks Al. Sementara itu, pemanasan pada temperatur 550 °C telah terjadi interdifusi paduan U-7Mo dengan pelat AlMg₂ menghasilkan senyawa (U,Mo)Al_x pada antarmuka atau *interface*. Hal ini didukung oleh hasil analisis DTA menunjukkan bahwa paduan U-7Mo/Al pada 500 °C mempunyai kompatibilitas panas yang baik, tetapi di atas temperatur 550 °C telah terjadi perubahan fasa $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$. Pemanasan hingga 679,14 °C terjadi fasa metastabil U(Al,Mo)_x dan selanjutnya mengalami proses interdifusi dengan leburan uranium membentuk *interaction layer* berupa aglomerat senyawa UAl_x (UAl₄, UAl₃ dan UAl₂). Aglomerat yang terbentuk dari proses pemanasan secara *diffusion couple* maupun dalam tungku DTA dibandingkan dengan aglomerat yang terbentuk akibat proses iradiasi. Bahan bakar paduan U-7Mo/Al yang diradiasi dengan *burn up* 58% mengalami interdifusi antara U-7Mo dengan matriks Al menghasilkan fasa metastabil U(Al,Mo)_x yang berubah menjadi *layer* (U,Mo)Al₇, presipitat UMo₂Al₂₀, (UMo)Al₃-Al dan membentuk *boundary* atau aglomerat UAl_x (UAl₄, UAl₃ dan UAl₂). Data ini didukung oleh analisis kekerasan mikro menggunakan Hardness Vickers dilakukan terhadap kelongsong AlMg dan paduan U-7Mo (sebelum dan sesudah pemanasan) serta sampel *diffusion couple* U-7Mo/Al dengan pelat AlMg₂ hasil pemanasan pada temperatur 550 °C. Hasil analisis kekerasan mikro yang diperoleh berturut-turut adalah 64,62 dan 340,45 HV (sebelum pemanasan) dan 52,34;303,16 dan 497,34 HV (setelah pemanasan). Dari ketiga sampel uji diperoleh kekerasan paling besar pada zona antarmuka sampel *diffusion couple* U-7Mo/Al dengan pelat AlMg₂, bila dibandingkan dengan kelongsong AlMg₂ dan juga paduan U-7Mo. Perbedaan kekerasan ini menunjukkan bahwa pada pengujian interdifusi menggunakan metode *diffusion couple* menghasilkan senyawa baru (U,Mo)Al_x pada zona antarmuka yang memiliki karakter berbeda. Terbentuknya *interaction layer* tidak diharapkan dalam bahan bakar dispersi U-Mo/Al karena *layer* senyawa (U,Mo)Al_x memiliki kekerasan mikro dan densitas lebih rendah dari pada densitas rata-rata paduan bahan bakar U-7Mo/Al.

Kata Kunci: U-7Mo/Al, diffusion couple, interaction layer, mikrostruktur, DTA dan kekerasan mikro.

Supardjo, Agoeng Kadarjono, Boybul, Aslina Br. Ginting, (2016), Pengaruh Unsur Zr Terhadap Perubahan Sifat Termal Bahan Bakar Dispersi U-7Mo-xZr/Al, Vol. 22 No. 1, hal. 13.

PENGARUH UNSUR Zr TERHADAP PERUBAHAN SIFAT TERMAL BAHAN BAKAR DISPERSI U-7Mo-xZr/Al. Data sifat termal bahan bakar nuklir diperlukan sebagai data masukan untuk memprediksi fenomena perubahan sifat material selama proses fabrikasi maupun iradiasi di dalam reaktor nuklir. Penelitian pengaruh unsur Zr di dalam bahan bakar dispersi U-7Mo-xZr/Al (x = 1%, 2% dan 3%) terhadap perubahan sifat termal pada berbagai temperatur telah dilakukan. Tujuan penambahan unsur Zr pada penelitian adalah untuk meningkatkan stabilitas panas bahan bakar U-Mo. Analisis termal meliputi penentuan temperatur lebur, entalpi dan perubahan fasa dilakukan menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA) pada rentang temperatur antara 30 °C hingga 1400 °C, sedangkan kapasitas panas paduan U-7Mo-xZr dan bahan bakar dispersi U-7Mo-xZr/Al menggunakan *Differential Scanning Calorimeter* (DSC) pada temperatur ruangan hingga 450 °C. Data analisis termal dengan DTA diketahui bahwa ketiga komposisi kadar Zr menunjukkan fenomena yang mendekati sama. Pada temperatur antara 565,60 °C - 584,98 °C terjadi perubahan fasa $\alpha + \delta$ menjadi $\alpha + \gamma$, dan pada 649,22 °C - 650,13 °C terjadi peleburan matriks Al yang diikuti oleh reaksi antara matriks Al dengan U-7Mo-xZr pada temperatur 670,38 °C - 673,38 °C membentuk U(Al,Mo)_xZr. Sementara itu, perubahan fasa $\alpha + \beta$ menjadi $\beta + \gamma$ terjadi pada temperatur 762,08 °C - 776,33 °C dan difusi antara matriks Al dengan U-7Mo-xZr terjadi pada 853,55 °C - 875,20 °C. Setiap fenomena yang terjadi, entalpi yang ditimbulkan relatif stabil. Peleburan uranium terjadi pada 1052,42 °C - 1104,99 °C dan reaksi dekomposisi U(Al,Mo)_x dan U(Al,Zr)_x menjadi (UAl₄, UAl₃, UAl₂), U-Mo, dan UZr pada 1328,34 °C - 1332,06 °C. Keberadaan logam Zr di dalam paduan U-Mo meningkatkan kapasitas panas bahan bakar paduan U-7Mo-xZr/Al, semakin tinggi kadar Zr kapasitas panas meningkat yang disebabkan oleh interaksi antara atom Zr dengan matriks Al sehingga panas yang diserap oleh bahan bakar menjadi meningkat.

Kata kunci: bahan bakar dispersi U-7Mo-xZr/Al, transformasi fasa, entalpi, kapasitas panas.

Masrukan, Mujinem, (2016), Pengaruh Proses Sintering Terhadap Perubahan Densitas, Kekerasan Dan Mikrostruktur Pelet U-ZrH_x, Vol. 22 No. 1, hal. 25.

PENGARUH PROSES SINTERING TERHADAP PERUBAHAN DENSITAS, KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR PELET U-ZrH_x. Proses *sintering* pelet bahan bakar U-ZrH_x dilakukan untuk memperoleh densitas yang lebih tinggi dari pelet sebelum disinter. Mula-mula dibuat pelet U-ZrH_x dari kandungan Zr berturut-turut sebesar 35%, 45% dan 55% berat. Proses *sintering* dilakukan selama 1 jam pada temperatur yang bervariasi 1100 °C, 1200 °C dan 1300 °C dengan laju kenaikan temperatur 2 °C/menit, kemudian diturunkan temperaturnya dengan laju penurunan temperatur 10 °C/menit hingga temperatur kamar. Pelet U-ZrH_x yang telah disinter selanjutnya dikenai berbagai pengujian, antara lain dimensi, densitas, kekerasan dan mikrostruktur. Pada pengujian densitas terlihat bahwa pada komposisi Zr yang sama tetapi temperatur *sintering* yang semakin tinggi maka terjadi kenaikan nilai densitas. Apabila dilihat pada temperatur *sintering* yang sama dan kandungan Zr yang semakin tinggi maka densitas yang diperoleh semakin rendah. Hasil pengujian

kekerasan mikro menunjukkan bahwa pada komposisi tetap Zr sebesar 35% dan 55% yang disinter pada temperatur *sintering* yang semakin tinggi maka semakin tinggi kekerasannya, kemudian menurun bila temperatur *sintering* naik. Apabila dilihat hasil pengujian pada temperatur *sintering* tetap tetapi kandungan Zr berbeda maka terlihat dari kandungan Zr 35% (U-35ZrH_x) menjadi 45% (U-45ZrH_x) terjadi kenaikan kekerasan dan akan menurun pada kenaikan kandungan Zr menjadi 55% (U-55ZrH_x). Sementara itu, dari hasil pemeriksaan mikrostruktur menunjukkan bahwa pada komposisi Zr tetap tetapi temperatur *sintering* semakin tinggi, maka jarak antar serbuk semakin rapat. Apabila dilihat dari temperatur *sintering* tetap tetapi komposisi Zr yang semakin tinggi, maka terlihat bahwa semakin tinggi komposisi Zr semakin berkurang kerapatan jarak antar serbuk. Dapat disimpulkan bahwa proses *sintering* pelet akan menaikkan densitas, kekerasan dan kerapatan jarak antar serbuk. Kondisi optimum dicapai pada proses *sintering* pelet dengan komposisi Zr 45% (U-45ZrH_x) yang disinter pada temperatur 1200 °C. Pada kondisi tersebut pelet sinter mempunyai densitas sebesar 8,673 g/cm³, kekerasan sebesar 661 HVN tanpa mengalami keretakan.

Kata kunci : *Sintering*, densitas, kekerasan, mikrostruktur, pelet U-ZrH_x.

Etty Mutiara, Meniek Rachmawati dan Masrukan, (2016), Perbandingan Densitas Pelet UO₂ Hasil Peletisasi Menggunakan Serbuk Dan Mikrospir, Vol. 22 No. 1, hal. 35.

PERBANDINGAN DENSITAS PELET UO₂ HASIL PELETISASI MENGGUNAKAN SERBUK DAN MIKROSPIR UO₂.

Telah dilakukan pengembangan proses peletisasi menggunakan mikrospir UO₂ sebagai pengganti serbuk UO₂. Mikrospir bersifat speris, *free flowing*, porus dengan kekerasan tertentu (*soft particle*). Keunggulan penggunaan mikrospir pada proses peletisasi adalah tidak menimbulkan debu saat kompaksi dan lebih efektif dalam pengepakan sehingga tidak membutuhkan proses granulasi dan pelumas padat. Dihipotesakan bahwa penggunaan mikrospir UO₂ dalam proses peletisasi akan memberikan densitas pelet sinter yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan serbuk UO₂ pada parameter proses peletisasi yang sama. Mikrospir UO₂ yang digunakan pada peletisasi ini berukuran 900 µm dan crushing strength 2,0 N/partikel sedangkan serbuk UO₂ yang digunakan berukuran antara 150 -850 µm. Proses peletisasi mikrospir UO₂ dan serbuk UO₂ dilakukan dengan memvariasikan tekanan kompaksi antara 200Mpa hingga 500Mpa dan disinter pada temperatur 1100 °C selama 6 jam dalam suasana campuran gas hidrogen dan nitrogen. Karakterisasi dilakukan pada pelet mentah dan pelet sinter mikrospir UO₂ dan serbuk UO₂ yang meliputi pengukuran dimensi, penimbangan berat dan pengukuran densitas. Pada variasi tekanan kompaksi diperoleh pelet mentah dan pelet sinter mikrospir UO₂ dengan densitas lebih tinggi dibandingkan hasil peletisasi serbuk UO₂. Dari kegiatan ini belum diperoleh pelet sinter UO₂ dengan densitas sesuai persyaratan reaktor pengguna sehingga diperlukan penelitian lanjutan terkait parameter proses peletisasi dan spesifikasi mikrospir UO₂ yang efektif dalam memberikan pelet sinter UO₂ dengan densitas sesuai persyaratan.

Kata kunci: peletisasi, UO₂, mikrospir, serbuk, densitas.

Sungkono, Tri Mardji Atmono, Dwi Priyantoro, (2016), Pelapisan Permukaan Pelet UO₂ Dengan Zirkonium Diborida Menggunakan Metoda Sputtering, Vol. 22 No. 1, hal. 43.

PELAPISAN PERMUKAAN PELET UO₂ DENGAN ZIRKONIUM DIBORIDA MENGGUNAKAN METODA SPUTTERING.

Pengembangan teknologi bahan bakar nuklir bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Salah satu solusi yang diajukan adalah penggunaan bahan bakar dengan fraksi bakar (*burn up*) tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan gas hasil fisi dan reaktivitas teras reaktor nuklir. Untuk mengendalikan kelebihan reaktivitas teras reaktor digunakan bahan bakar terintegrasi penyerap mampu bakar. Sehubungan dengan hal tersebut telah dibuat pelet UO₂ berlapis tipis penyerap mampu bakar. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan karakter lapisan zirkonium diborida pada permukaan pelet UO₂ yaitu mikrostruktur, struktur kristal dan komposisi kimia. Pelapisan permukaan pelet UO₂ dilakukan dengan bahan pelapis ZrB₂ menggunakan metoda *sputtering*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikrostruktur pelet UO₂ + 0,4% Cr₂O₃ berupa butir-butir campuran ekuiaksial dan *acicular* dengan diameter 2,44 µm, sedangkan pelet UO₂ + 0,3% Nb₂O₅ mempunyai struktur butir berupa ekuiaksial dan batang pipih dengan diameter 2,47µm. Lapisan zirkonium diborida pada permukaan pelet UO₂ + 0,4% Cr₂O₃ dan pelet UO₂ + 0,3% Nb₂O₅ serupa yaitu tipis dan kompak dengan ketebalan 2,71 µm dan 2,82 µm. Identifikasi terhadap pola difraksi sinar-X pada pelet UO₂ + 0,4% Cr₂O₃ dan pelet UO₂ + 0,3% Nb₂O₅ menunjukkan adanya fasa UO₂ dengan struktur kristal kubus dan fasa ZrB₂ dengan struktur kristal heksagonal. Sementara itu, konsentrasi zirkonium dalam lapisan pelet UO₂ + 0,4% Cr₂O₃ dan pelet UO₂ + 0,3% Nb₂O₅ diperoleh masing-masing sebesar 1,82 µg dan 1,90 µg. Adanya unsur zirkonium membuktikan bahwa lapisan ZrB₂ terbentuk pada permukaan pelet UO₂.

Kata kunci: Pelet UO₂, lapisan ZrB₂, *sputtering*, mikrostruktur, ketebalan, struktur kristal, komposisi kimia.

Sri Kuntjoro, Pande Made Udiyani, (2016), Analisis Inventori Reaktor Daya Eksperimental Jenis Reaktor Gas Temperatur Tinggi, Vol. 22 No. 1, hal. 53.

ANALISIS INVENTORI REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL JENIS REAKTOR GAS TEMPERATUR TINGGI.

Berkaitan dengan rencana Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) untuk mengoperasikan reaktor eksperimental jenis Reaktor Gas Temperatur Tinggi (RGTT), maka diperlukan analisis keselamatan terhadap reaktor terutama yang berkaitan dengan issue lingkungan. Analisis sebaran radionuklida dari reaktor ke lingkungan pada kondisi operasi normal atau abnormal diawali dengan estimasi sumber radionuklida di teras reaktor (inventori teras) berdasarkan pada tipe, daya dan operasi reaktor. Tujuan penelitian adalah melakukan analisis inventori teras untuk disain Reaktor Daya Eksperimental (RDE) jenis reaktor gas temperature tinggi berdaya 10MWt, 20MWt dan 30MWt. Analisis dilakukan menggunakan program ORIGEN2 berbasis pustaka penampang lintang pada suhu tinggi. Perhitungan diawali dengan membuat modifikasi beberapa parameter pustaka tangpang lintang berdasarkan suhu rata-rata teras sebesar 5700C dan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan inventori reaktor untuk reaktor RDE berdaya 10MWt. Parameter utama

reaktor RDE 10MWt yang digunakan dalam perhitungan sama dengan parameter utama reaktor HTR-10. Setelah inventori reaktor RDE 10MWt diperoleh, dilakukan perbandingan dengan hasil dari peneliti terdahulu. Berdasarkan kesesuaian hasil yang didapat dilakukan desain untuk reaktor RDE 20MWt dan 30MWt untuk memperoleh parameter utama reaktor tersebut berupa jumlah bahan bakar pebble bed di teras reaktor, tinggi dan diameter teras. Berdasarkan parameter utama teras dilakukan perhitungan inventori teras RDE 20MWt dan 30MWt dengan metode yang sama dengan metode perhitungan pada RDE 10MWt. Hasil yang diperoleh adalah inventori terbesar untuk reaktor RDE 10MWt, 20MWt dan 30MWt secara berurutan untuk kelompok Kr adalah sekitar $1,00E+15Bq$, $1,20E+16Bq$, $1,70E+16Bq$ untuk kelompok I sebesar $6,50E+16Bq$, $1,20E+17Bq$, $1,60E+17Bq$ dan untuk kelompok Cs sebesar $2,20E+16Bq$, $2,40E+16Bq$ dan $2,60E+16Bq$. Inventori teras selanjutnya akan digunakan untuk menghitung suku sumber dari reaktor yang akan digunakan sebagai dasar untuk perhitungan sebaran radionuklida ke lingkungan.

Kata kunci: Inventori, RDE, daya 10MWt, daya 20MWt, daya 30MWt.

ABSTRACT

Maman Kartaman A, Aslina B. Ginting, Supardjo, Boybul, (2016), *Temperature And Irradiation Effects To Interdiffusion Of Fuel Material U-7Mo/Al Type*, Vol. 22 No. 1, page 1.

TEMPERATURE AND IRRADIATION EFFECTS TO INTERDIFFUSION OF FUEL MATERIAL U-7Mo/Al TYPE.

U-7Mo/Al alloy had great potential as research reactor fuel, but it had several disadvantages, such as, it can form an interaction layer at the interface during the process of fabrication and irradiation in the reactor. The research objective was to determine the interaction layer caused by interdiffusion or diffusion couple of U-7Mo with AlMg2 alloy which was annealed at 500 °C and 550 °C for 24 hours. The observation of microstructure used the Scanning Electron Microscope (SEM) on diffusion couple sample which was heated at temperature of 500 °C had not seen the interaction layer or the formation of a new phase between particles of U-Mo and Al matrix, but heating treatment at 550 °C indicated that U-7Mo alloy had been interdiffused with AlMg2 plate produced (U,Mo) Al_x compound on the interfaces. It was evidenced by interdiffusion reaction analysis used DTA which showed the U-7Mo / Al alloy at 500 °C had good heat compactibility, but at the temperatures higher than 550 °C there was a phase change from $\alpha + \delta$ to $\alpha + \gamma$ phase. The heating in DTA furnace up to 679.14 °C produced U(Al,Mo)_x metastable phase and then interdiffusion process with uranium molten formed layer interaction that formed UAl_x compound agglomerates (UAl₄, UAl₃ and UAl₂). Agglomerates were formed from the heating process which is similar to agglomerates that caused by irradiation. The U-7Mo / Al fuel alloy that had 58% burn up had been interdiffused between U-7Mo with Al matrix produced U(Al,Mo)_x metastable phase that turned into (U, Mo) Al₇ layer, UMo₂Al₂₀ precipitates, (UMO) Al₃-Al and formed a boundary or UAl_x (UAl₄, UAl₃ and UAl₂) agglomerates. The results of microstructure analysis used SEM and interdiffusion reactions used DTA was supported by the analysis of micro hardness used Vickers Hardness. The results of hardness analysis that was done to AlMg cladding and U-7Mo alloy (before and after heating) and diffusion couple of U-7Mo / Al samples with AlMg2 plate after heating at 550 °C were respectively 64.62 and 340.45 HV (before heating) and 52.34; 303.16 and 497.34 HV (after heating). Diffusion couple U-7Mo/Al with AlMg2 plate samples had the highest hardness value. This hardness difference showed that the interdiffusion test used diffusion couple produced a new compound (U, Mo) Al_x in interface zone that had different character, but the formation of interaction layer is not expected in the fuel U-Mo / Al dispersion because micro hardness and density of (U, Mo) Al_x compound's layer was lower than the average density of U-7Mo/Al alloy.

Keywords: U-7Mo/Al, diffusion couple, interaction layer, microstructure, DTA and micro hardness.

Supardjo, Agoeng Kadarjono, Boybul, Aslina Br. Ginting, (2016), *Effect Of The Zr Elements With Thermal Properties Changes Of U-7Mo-xZr/Al Dispersion Fuel*, Vol. 22 No. 1, page 13.

EFFECT OF THE Zr ELEMENTS WITH THERMAL PROPERTIES CHANGES OF U-7Mo-xZr/Al DISPERSION FUEL.

Thermal properties data of nuclear fuel is required as input data to predict material properties change phenomenon during the fabrication process and irradiated in a nuclear reactor. Study the influence of Zr element in the U-7Mo-xZr/Al (x = 1%, 2% and 3%) fuel dispersion to changes in the thermal properties at various temperatures have been done. Thermal analysis includes determining the melting temperature, enthalpy, and phase changes made using Differential Thermal Analysis (DTA) in the temperature range between 30 °C up to 1400 °C, while the heat capacity of U-7Mo-xZr alloy and U-7Mo-xZr/Al dispersion fuel using Differential Scanning Calorimeter (DSC) at room temperature up to 450 °C. Thermal analysis data DTA shows that Zr levels of all three compositions showed a similar phenomenon. At temperatures between 565.60 °C – 584.98 °C change becomes $\alpha + \delta$ to $\alpha + \gamma$ phase and between 649.22 °C – 650.13 °C occur the Al matrix melting followed by a reaction between Al matrix with U-7Mo-xZr at ranged temperature 670.38 °C – 673.38 °C formed U (Al, Mo)_x Zr. Furthermore a phase change $\alpha + \beta$ become $\beta + \gamma$ occurs between temperatures 762.08 °C – 776.33 °C and diffusion between the matrix by U-7Mo-xZr/Al at temperature between 853.55 °C – 875.20 °C. Every phenomenon that occurs, enthalpy posed a relative stable. Consolidation of uranium occur in 1052.42 °C – 1104.99 °C and the decomposition reaction of U (Al, Mo)_x and U (Al, Zr)_x becomes (UAl₄, UAl₃, UAl₂), U-Mo, and UZr in 1328.34 °C - 1332.06 °C, The existence of Zr in U-Mo alloy increases the heat capacity of the U-7Mo-xZr/Al, dispersion fuel and the higher heat capacity of Zr levels increased due to interactions between the atoms of Zr with Al matrix so that the heat absorbed by the fuel increase.

Keywords: U-7Mo-xZr/Al dispersion fuel, phase transformation, enthalpy, heat capacity.

Masrukan, Mujinem, (2016), *Effect Of Sintering Process To Changes In Dimension, Density, Hardness, And Microstructure Of U – ZrH_x Pelet*, Vol. 22 No. 1, page 25.

EFFECT OF SINTERING PROCESS TO CHANGES IN, DENSITY, HARDNESS, AND MICROSTRUCTURE OF U-ZrH_x PELET.

The sintering process of fuel pellets U-ZrH_x performed to obtain a higher density compared pellets before sintered. At first, U-ZrH_x pellets made from the content of Zr respectively 35%, 45% and 55% by weight. Sintering process is carried out for 1 hour at varying temperature 1100 °C, 1200 °C and 1300 °C with an increasing rate at 2 °C/min, then decreasing rate at 10 °C/min until room temperature. The U-ZrH_x pellets that have been sintered subsequently subjected to various tests, such as: the dimensions, density, hardness, and microstructure. The density test showed that an increasing density respectively to the sintering temperature at the same Zr composition. At the same sintering temperature when the Zr composition increasing then the density that was obtained tend to decreasing. Micro hardness result shows that the sintered pellet with Zr composition at 35% and 55% when sintered at higher temperature, tend to have higher hardness, and then slowly decrease as increasing the sintering temperature. The test results at the same sintering temperature with different content of Zr in the contents of Zr 35% (U-35ZrH_x) to 45% (U-45ZrH_x) tend to increase in hardness, and will decrease in the content of Zr to 55% (U-55ZrH_x). Meanwhile, the results of the microstructure observation of the pellets can be seen that at the same Zr composition with increasing the sintering temperature, then

the distance of the powder more tight showed the higher density. When viewed from the same sintering temperature with the increasing of Zr composition showed that the higher Zr composition, the density of the pellets increased. It can be concluded that the sintering process of the pellets will increase the density, hardness, and distance between powder. The optimum condition was achieved at the sintering process of pellet with a composition 45% Zr (U-45ZrH_x) that sintered at temperatures of 1200 °C. In these conditions the sintered pellet had a density of 8.673 g/cm³, hardness of 661 HVN without developing cracks.

Keywords: Sintering, density, hardness, microstructure, U-ZrH_x pellet.

Etty Mutiara, Meniek Rachmawati dan Masrukan, (2016), A Comparison Of Pellets Densities In Pelletization Process Using UO₂ Powder And UO₂ Microsphere, Vol. 22 No. 1, page 35.

A COMPARISON OF PELLETS DENSITIES IN PELLETTIZATION PROCESS USING UO₂ POWDER AND UO₂ MICROSPHERE. A pelletization process UO₂ fuel has been developed using UO₂ microsphere as a substitute of UO₂ powder. Microspheres are spherical, free flowing and porous with certain hardness (soft particle). The benefit of using microsphere in pelletization process is dust free in compaction and more effective in packing so the granulation process and solid lubricants are not required. It is hypothesized that the use of UO₂ microsphere in the pelletization process will provide higher sintered pellet density than UO₂ powder at the same pelletization process parameters. UO₂ microsphere size used in this pelletization was 900 μm with crushing strength of 2.0 N/particles while the UO₂ powder size between 150 and 850 μm. The pelletization processes of UO₂ microsphere and UO₂ powder were performed by varying the compacting pressure between 200Mpa up to 500MPa and sintered at temperatures of 1100 °C for 6 hours in an atmosphere of hydrogen and nitrogen gas mixture. Characterizations performed on the green and sintered pellets of UO₂ microsphere and UO₂ powder were dimension measurements, weighing and densities measurements. The densities of green and sintered pellets of UO₂ microsphere were higher than the green and sintered pellets densities of UO₂ powder with corresponded compaction pressure variations. The results indicate that the density of the green pellets both compaction results UO₂ powder and UO₂ microsphere increased with increasing compacting pressure. Mikrosfir UO₂ pellets density crude ranged from 82.1 to 84.2% TD. At the same sintering conditions, both Compaction UO₂ powder and UO₂ mikrosfir Compaction shows the density increases with the greater pressure compacting process. The sintered pellets densities of UO₂ obtained from this research were not appropriate with density requirements of PWR fuel. It is necessary to perform advanced research related to the effective pelletization process parameters and UO₂ microsphere specifications in providing the appropriate sintered pellets densities.

Keywords: pelletization, UO₂ microsphere, powder, density.

Sungkono, Tri Mardji Atmono, Dwi Priyantoro, (2016), Coating On Surface Of UO₂ Pellet With Zirconium Diboride Using The Method Of Sputtering, Vol. 22 No. 1, page 43.

COATING ON SURFACE OF UO₂ PELLET WITH ZIRCONIUM DIBORIDE USING THE METHOD OF SPUTTERING. Development of the nuclear fuel technology was aimed to improve nuclear power plant efficiency. One of the proposed solutions was utilization nuclear fuel with the high burn up. This leads to an increase in gas fission and nuclear reactor core reactivity. The excess reactivity of the reactor core controlled by integrated fuel burnable absorber. In connection it has made a thin layered UO₂ pellets with burnable absorber. The objectives of this research was to obtain the characters of zirconium diboride layer on UO₂ pellets surface i.e microstructure, crystal structure and chemical composition. The results of this experiment showed that the microstructure of UO₂ + 0.4% Cr₂O₃ pellet has equiaxial and accicular grains with a diameter of 2.44 μm, whereas the UO₂ + 0.3% Nb₂O₅ pellets has a grain structure in the form of equiaxial and flattened rod with a diameter of 2.47 μm. The layer of zirconium diboride on the surface of UO₂ + 0.4 % Cr₂O₃ and UO₂ + 0.3% Nb₂O₅ pellets are similar namely thin and compact with a thickness of 2.71 μm and 2.82 μm. The identification of X- Ray Diffraction pattern on UO₂ + 0.4% Cr₂O₃ and UO₂ + 0.3% Nb₂O₅ pellets to exhibit there are of UO₂ phase with cubical crystal structure and phase ZrB₂ phase with hexagonal crystal structure. Meanwhile, zirconium concentration on the surface layer of UO₂ + 0.4% Cr₂O₃ and UO₂ + 0.3% Nb₂O₅ pellets each of 1.82 μg and 1.90 μg, The presence of zirconium element show that ZrB₂ layer formed on the surface of UO₂ pellets.

Keywords: UO₂ pellet, ZrB₂ layer, sputtering, microstructure, thickness, crystal structure, chemical composition.

Sri Kuntjoro, Pande Made Udiyani, (2016), The Analysis For Inventory Of Experimental Reactor High Temperature Gas Reactor Type, Vol. 22 No. 1, page 53.

THE ANALYSIS FOR INVENTORY OF EXPERIMENTAL REACTOR HIGH TEMPERATURE GAS REACTOR TYPE. Relating to the plan of the National Nuclear Energy Agency (BATAN) to operate an experimental reactor of High Temperature Gas Reactors (HTGR) type, it is necessary to do the safety analysis, especially with regard to environmental issues. Analysis of the distribution of radionuclides from the reactor into the environment in normal or abnormal operating conditions starting with the estimated reactor inventory based on the type, power, and operation of the reactor. The purpose of research is to analyze inventory terrace for Experimental Power Reactor design (RDE) high temperature gas reactor type power 10MWt, 20MWt and 30MWt. Analyses were performed using ORIGEN2 computer code with high temperatures cross-section library. Calculation begins with making modifications to some parameter of cross-section library based on the core average temperature of 5700C and continued with calculations of reactor inventory due to RDE 10MWt reactor power. The main parameters of the reactor 10MWt RDE used in the calculation of the main parameters of the reactor similar to the HTR-10 reactor. After the reactor inventory 10MWt RDE obtained, a comparison with the results of previous researchers. Based upon the suitability of the results, it make the design for the reactor RDE 20MWEt and 30MWT to obtain the main parameters of the reactor in the form of the amount of fuel in the pebble bed reactor core, height and diameter of the terrace. Based on the main parameter or reactor obtained perform of calculation to get reactor inventory for RDE 20MWT and 30MWT with the same methods as the method of the RDE

10MWt calculation. The results obtained are the largest inventory of reactor RDE 10MWt, 20MWt and 30MWt sequentially are to Kr group are about $1,00E+15Bq$, $1,20E+16Bq$, $1,70E+16Bq$, for group I are $6,50E+16Bq$, $1,20E+17Bq$, $1,60E+17Bq$ and for groups Cs are $2,20E+16Bq$, $2,40E+16$ $2,60E+16Bq$. Reactor inventory will then be used to calculate the reactor source term and it will be used as the basis for calculating the distribution of radionuclides into the environment.

Keywords: *Inventory, RDE, 10MWt power, 20MWt power, 30MWt power.*

UCAPAN TERIMA KASIH

Redaksi mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Agus Taftazani (PSTA, BATAN), mempunyai kepakaran dalam bidang kimia.
2. Dr. Azwar Manaf, M. Met (Universitas Indonesia), mempunyai kepakaran dalam bidang material.
3. Ir. Tagor Malem Sembiring (PTKRN, BATAN), mempunyai kepakaran dalam bidang teknik nuklir.
4. Prof. Dr. Yanni Sudiyani (LIPI), mempunyai kepakaran dalam bidang biologi lingkungan.
5. Ir. Rudi Setya Wahjudi, M.T (USAkti, Jakarta), mempunyai kepakaran dalam bidang elektro/ instrumentasi.
6. Prof. Drs. Surian Pinem, M.Si (PTKRN,BATAN) mempunyai kepakaran dalam bidang material.

Sebagai penyunting mitra bestari yang telah menyediakan waktu, pikiran serta saran-saran untuk mereview jurnal ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "URANIA" Volume 22 No. 1 (edisi Februari 2016).

Februari, 2016

Redaksi

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "**URANIA**"

URANIA

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

PEDOMAN PENULISAN NASKAH

Naskah berupa karya tulis ilmiah hasil penelitian dan pengembangan yang berkaitan dengan daur bahan bakar nuklir yang meliputi: proses, analisis, uji bahan, perekayasaan, modeling dan keselamatan. Naskah harus orisinal dan belum pernah diterbitkan. Ketentuan penulisan naskah karya tulis ilmiah adalah sbb:

1. JUDUL, ditulis menggunakan jenis huruf arial 14, *bold* dengan spasi 1,5.
2. NAMA PENULIS, ditulis menggunakan jenis huruf arial 12, *bold* dengan spasi 1,5.
3. ALAMAT/ UNIT KERJA/ ALAMAT EMAIL, ditulis menggunakan jenis huruf arial 12 dengan spasi 1,5.
4. ABSTRAK, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris maksimum 200 kata, berisi ringkasan latar belakang, tujuan, pelaksanaan, hasil dan simpulan. Di bawah abstrak dituliskan kata kunci.
5. PENDAHULUAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Pendahuluan memuat latar belakang dan permasalahan, status ilmiah saat ini, cara pendekatan penyelesaian masalah, hipotesis, tujuan, metoda dan hasil yang diharapkan.
6. TEORI, bila diperlukan. ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14.
7. METODOLOGI/ TATA KERJA, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Metodologi/ Tata Kerja ditulis secara terinci yang memuat metoda, ruang lingkup, bahan dan peralatan yang digunakan serta cara kerja.
8. HASIL DAN PEMBAHASAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14. Hasil dan Pembahasan disusun secara rinci yang memuat data (tabel, gambar), bahasan hasil yang diperoleh dan kaitan dengan konsep dasar atau hipotesis, perbandingan dengan hasil penelitian lain dan implikasi hasil penelitian.
9. SIMPULAN, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 yang berisi simpulan dari hasil pembahasan.
10. UCAPAN TERIMA KASIH, bila ada. ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14.
11. DAFTAR PUSTAKA, ditulis menggunakan jenis huruf arial 10 dengan spasi *exactly* 14 ditulis sesuai urutan yang diacu dan menggunakan nomor urut dengan angka Arab. Penulisan daftar pustaka mengacu pada standar APA (*American Psychological Association*). Acuan lengkap dapat dilihat di situs <http://www.apastyle.org> Contoh penulisan Daftar pustaka dari berbagai sumber seperti berikut:
 - a. **Buku:** Smallman, R.E. (1991). *Metalurgi Fisik Moderen* (Edisi 4). Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
 - b. **Artikel Jurnal:** Sugondo, Chaidir, A. (2009). Pengaruh Temperatur Anil Terhadap Jenis dan Ukran Presipitat Fase Kedua pada Paduan Zr-1%Nb-1%Sn-1%Fe. *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, 5(1), 21-29.
 - c. **Makalah Referensi:** Suwarno, H., Wisnu, A.A., & Andon, I. (2007, August). *The X-Ray Diffraction Analyses on the Mechanical Alloying of the Mg₂Ni Formation*. Paper presented at the *International Conference on Solid State Ionics Proceeding*, Jakarta.
 - d. **Tesis/Disertasi:** Setiawan, J. (2010). JUDUL. Tesis Magister Teknis, Universitas Indonesia (...kode jika ada...).
 - e. **Dokumen Internet:** Bacon, H.P. (n.d.). *The pig pen: Frequently asked questions about Pig Latin* [WWW page]. URL <http://www.hammet.org/pigfaq.html>.
Catatan: *n.d (no date given) jika tanggal terbit tidak tersedia.
12. LAMPIRAN, jika ada.

Ketentuan lain:

- Naskah diketik menggunakan pengolah kata *Microsoft Word* dan dicetak pada kertas ukuran A4 dengan *margin* atas, bawah dan kanan masing-masing 2,54 cm sedangkan *margin* kiri 3,17 cm. Jumlah halaman minimal 8 dan maksimal 15 termasuk gambar dan tabel.
- Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris.
- Naskah dikirim langsung ke redaksi rangkap dua, satu bulan sebelum penerbitan.
- Penulis memperoleh 1 (satu) naskah cetak lepas untuk setiap penerbitan.
- Penerbitan jurnal dilakukan 3 (tiga) kali dalam satu tahun, yakni pada bulan Februari, Juni dan Oktober.