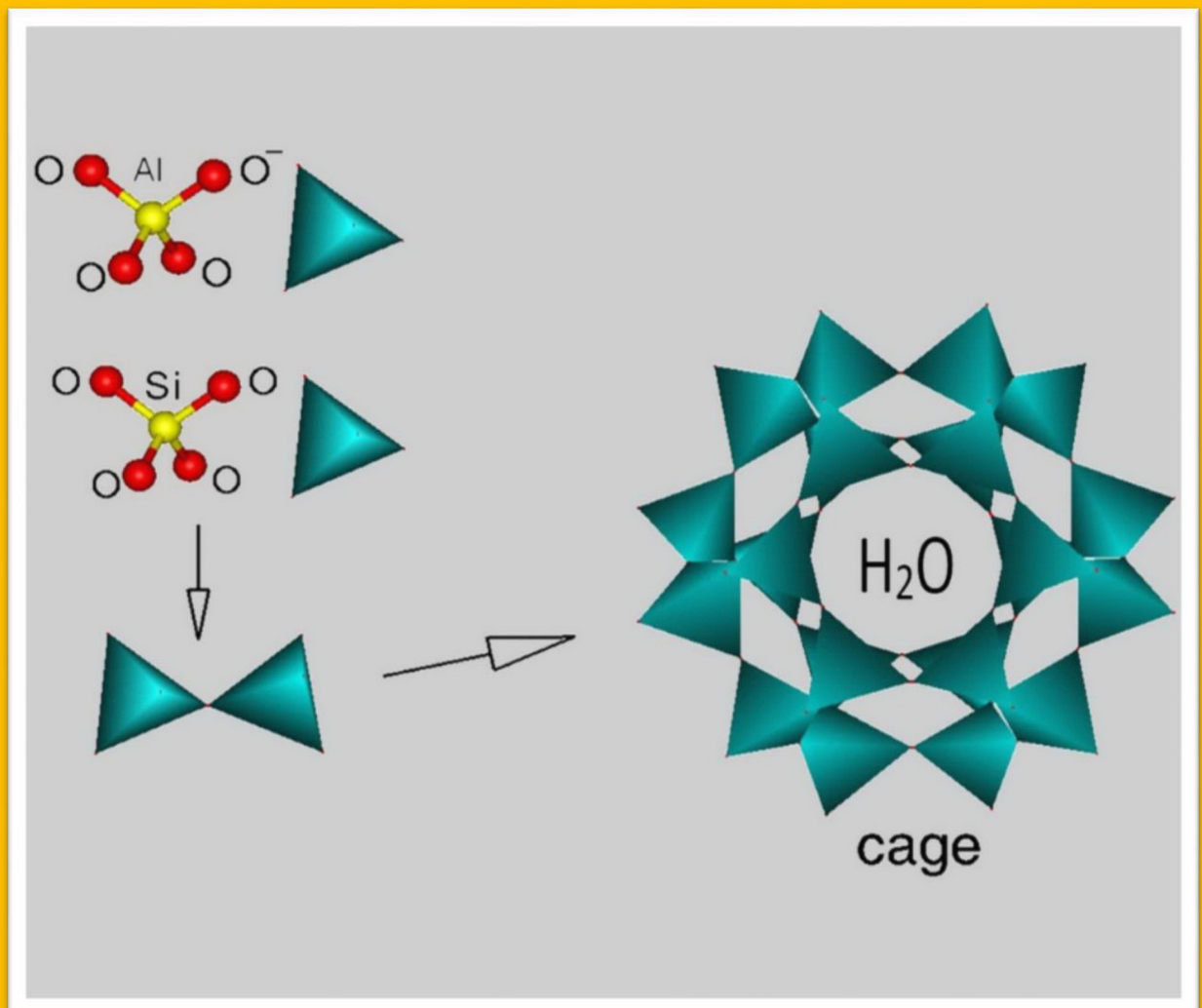


# Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No. 2

Juni 2016



*Kerangka Struktur Zeolit pada Unit Tetrahedral*

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

Urania	Vol. 22	No. 2	Hal : 65 - 132	Serpong Juni 2016	ISSN 0852 – 4777
--------	---------	-------	----------------	----------------------	------------------

# URANIA

---

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

---

Vol. 22 No. 2, Juni 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 Puspipetek Serpong 15314

Telp. 021-756-0915

Faks. 021-756-0909

E-mail : [ptbn@batan.go.id](mailto:ptbn@batan.go.id); [mhalhasa@yahoo.com](mailto:mhalhasa@yahoo.com), [masrukan2006@yahoo.com](mailto:masrukan2006@yahoo.com)

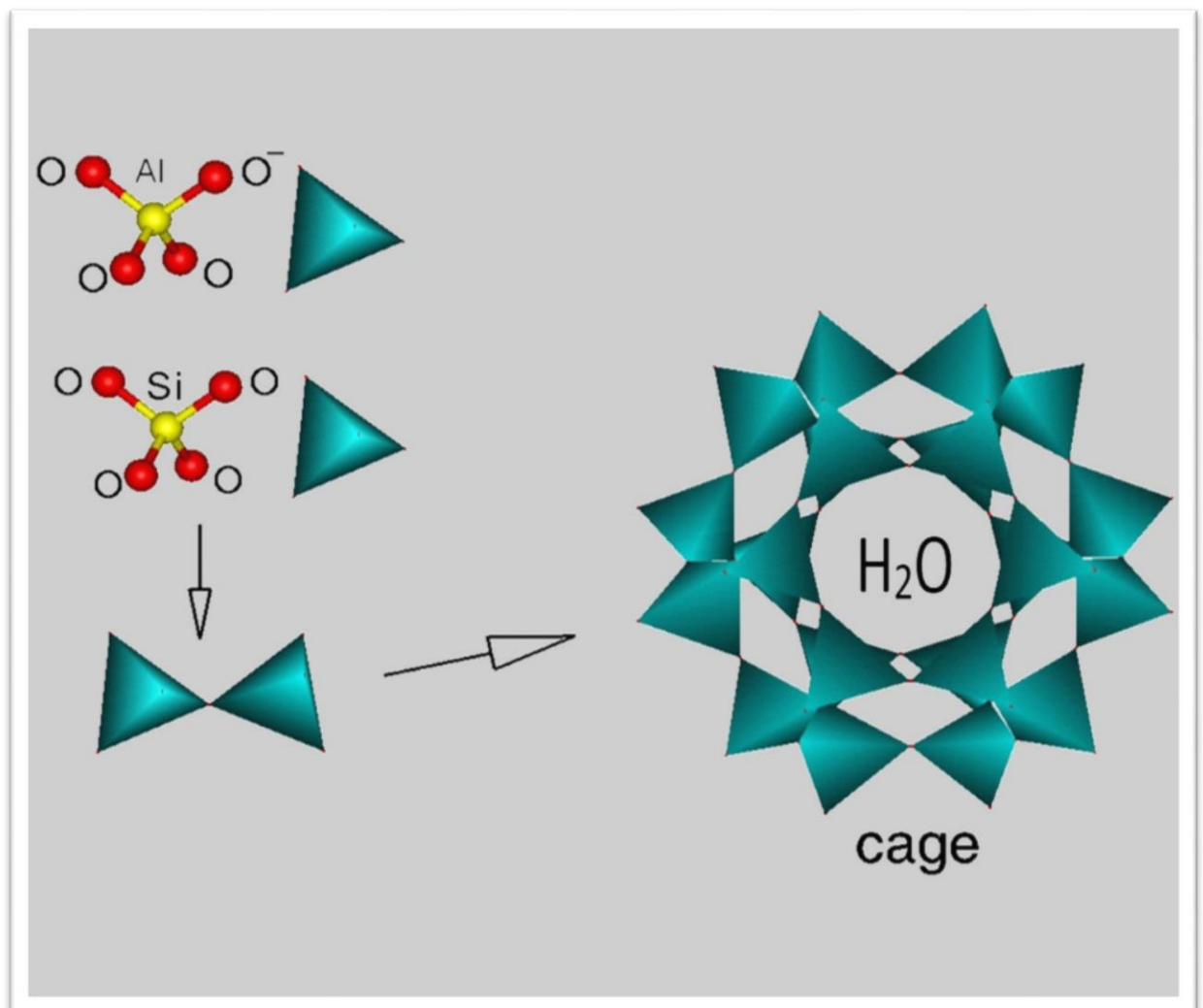
---

# Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 22 No. 2

Juni 2016



*Kerangka Struktur Zeolit pada Unit Tetrahedral*

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

Urania	Vol. 22	No. 2	Hal : 65 - 132	Serpong Juni 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. 2 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 daya yang ditulis dengan judul Fabrikasi Mikrosfir  $UO_2$  Menggunakan Teknik Aerasi. Fabrikasi mikrosfir  $UO_2$  berdensitas rendah dilakukan dengan cara sol-gel menggunakan teknik aerasi pada sol/broth dengan metode eksternal dan tiga variasi cara gelasi. Teknik aerasi merupakan kebalikan dari teknik deaerasi yang digunakan pada fabrikasi mikrosfir bahan bakar HTGR. Tulisan berikutnya menampilkan tulisan dengan judul Korelasi Komposisi Unsur Terhadap Sifat Termal Serbuk Bahan Bakar  $U-ZrH_x$ . Serbuk  $U-ZrH_x$  dibuat dari proses hidriding ingot U-Zr, dimana ingot U-Zr merupakan hasil peleburan logam U dan Zr. Perlunya dilakukan penentuan komposisi unsur terhadap sifat termal adalah untuk mengetahui pengaruh kadar Zr terhadap sifat transformasi panas dari bahan bakar tersebut. Tulisan berikutnya masih berkaitan dengan teknologi bahan bakar reaktor daya menampilkan tulisan dengan judul *Phase Changes On 4h And 6h Sic At High Temperature Oxidation*. Silikon karbida merupakan keramik non oksida yang sangat baik yang mempunyai potensi digunakan di industri. Di dalam industri nuklir silikon karbida digunakan sebagai bahan struktur yakni sebagai kelongsong bahan bakar reaktor air ringan (LWR) dan sebagai pelapis bahan bakar reaktor temperatur tinggi berpendingin gas (HTGR).

Topik kedua membahas masalah yang berkaitan dengan teknologi pemisahan isotop bahan bakar reaktor daya yang menampilkan tulisan dengan judul Metode Pengendapan Dan Penukar Kation Pada Proses Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar  $U_3Si_2-Al$ . Isotop  $^{137}Cs$  salah satu hasil fisi yang dapat digunakan sebagai monitor *burn up* untuk mempelajari kinerja bahan bakar selama iradiasi di dalam reaktor. Untuk menganalisis isotop  $^{137}Cs$  dalam pelat elemen bakar (PEB)  $U_3Si_2-Al$  pasca iradiasi diperlukan metode yang valid agar diperoleh data yang akurat. Beberapa metode dapat digunakan untuk pemisahan  $^{137}Cs$  dalam PEB  $U_3Si_2-Al$ , antara lain adalah metode pengendapan dalam bentuk garam  $CsClO_4$  sesuai dengan ASTM E 320-79 dan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung. Tulisan berikutnya menampilkan tulisan dengan judul Pengaruh Parameter Proses Elektrodeposisi Terhadap Penentuan Berat Isotop  $^{235}U$  Dan  $^{239}Pu$  Dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  Pasca Iradiasi. Dari tulisan tersebut pembaca dapat mengetahui parameter proses elektrodiposisi yang sangat mempengaruhi penentuan berat  $^{235}U$  dan  $^{239}Pu$  dalam larutan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi adalah kuat arus, waktu proses, volume umpan dan jenis larutan buffer elektrolit iradiasi. Tulisan terakhir pada edisi kali ini menampilkan tulisan dengan judul. Pembuatan Radionuklida Molibdenum-99 ( $^{99}Mo$ ) Hasil Aktivasi Neutron Dari Molibdenum Alam Untuk Memperoleh Teknesium-99m ( $^{99m}Tc$ ). Pembuatan radionuklida  $^{99}Mo$  dari aktivasi neutron molibdenum alam ( $MoO_3$ ) di teras reaktor G.A Siwabessy digunakan sebagai metode alternatif untuk memperoleh  $^{99m}Tc$ .

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

Juni, 2016  
DEWAN REDAKSI

# URANIA

---

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

---

Vol. 22 No. 2, Juni 2016

### DAFTAR ISI

Pengantar Redaksi	:	i
Daftar Isi	:	ii
Fabrikasi Mikrosfir $UO_2$ Menggunakan Teknik Aerasi (Meniek Rachmawati, ETTY Mutiara, Tri Yulianto)	:	65 - 74
Korelasi Komposisi Unsur Terhadap Sifat Termal Serbuk Bahan Bakar U-ZrHx (Masrukan K, M Husna Alhasa, Yanlinastuti)	:	75 - 86
<i>Phase Changes On 4H And 6H SiC At High Temperature Oxidation</i> (Jan Setiawan, Ganisa K Suryaman, Masrukan K)	:	87 - 98
Metode Pengendapan Dan Penukar Kation Pada Proses Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar $U_3Si_2-Al$ (Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini)	:	99 - 110
Pengaruh Parameter Proses Elektrodeposisi Terhadap Penentuan Berat Isotop $^{235}U$ Dalam PEB $U_3Si_2/Al$ Pasca Iradiasi (Yanlinastuti, Boybul, Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini)	:	111 - 120
Pembuatan Radionuklida Molibdenum-99 ( $^{99}Mo$ ) Hasil Aktivasi Neutron Dari Molibdenum Alam Untuk Memperoleh Teknesium-99m ( $^{99m}Tc$ ) I. Saptiama, Herlina, Sriyono, E. Sarmini, Abidin, Kadarisman	:	121 - 132

## ABSTRAK

Meniek Rachmawati, Ety Mutiara, Tri Yulianto. Fabrikasi Mikrosfir  $UO_2$  Menggunakan Teknik Aerasi. Vol. 22 No. 2 , hal 65.

**FABRIKASI MIKROSFIR  $UO_2$  MENGGUNAKAN TEKNIK AERASI.** Telah dikembangkan proses fabrikasi mikrosfir  $UO_2$  berdensitas rendah untuk umpan langsung proses peletisasi bahan bakar reaktor *PHWR* maju. Fabrikasi mikrosfir  $UO_2$  berdensitas rendah dilakukan dengan cara sol-gel menggunakan teknik aerasi pada sol/*broth* dengan metode eksternal dan tiga variasi cara gelasi. Pada teknik aerasi, *broth* disiapkan langsung digelasi tanpa didiamkan selama satu malam. Teknik aerasi merupakan kebalikan dari teknik deaerasi yang digunakan pada fabrikasi mikrosfir bahan bakar HTGR. *Broth* yang telah disiapkan dengan perbandingan mol  $NO_3^-/U$  antara 1,5 hingga 1,7 dengan pH larutan 1,6 dan viskositas antara 630-660 cP langsung digelasi dengan tiga cara gelasi. Proses gelasi cara 1 dan cara 2 dilakukan dengan melewati *broth* pada *dispersion nozzle* berdiameter 1mm yang digetarkan dengan *electromagnetic vibrator* pada 150Hz dengan media untuk droplet jatuh bebas yang berbeda sebelum masuk ke dalam larutan  $NH_4OH$ , sedangkan gelasi dengan cara 3 dilakukan secara manual. Mikrosfir  $UO_2$  basah yang diperoleh dari ketiga cara gelasi di atas mendapat perlakuan panas yang sama yaitu dikeringkan pada temperatur  $85^\circ C$  dan  $220^\circ C$  masing-masing selama selama 1jam, dilanjutkan dengan proses kalsinasi mikrosfir  $UO_2$  selama 1jam pada temperatur  $500^\circ C$  dalam media gas  $O_2$  dan direduksi pada temperatur  $600^\circ C$  dalam media campuran gas  $N_2$  dan  $H_2$  selama 1 jam. Mikrosfir  $UO_2$  hasil gelasi dengan cara 3 dipilih untuk disortir dan dikarakterisasi. Hasil karakterisasi memberikan data karakteristik mikrosfir  $UO_2$  berupa data diameter mikrosfir sebesar  $900\ \mu m$ , *tap density*  $1,90\ g/cm^3$  dan luas muka spesifik sebesar  $6\ m^2/g$ . Hasil analisis dan hasil karakterisasi kemudian dibandingkan dengan data penelitian lain sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan teknik aerasi pada *broth* menghasilkan mikrosfir  $UO_2$  berdensitas rendah yang memenuhi kriteria sebagai umpan langsung proses peletisasi bahan bakar *PHWR* maju dan *PWR* maju. Fabrikasi menggunakan teknik aerasi dengan gelasi cara 2 mempunyai peluang yang paling besar untuk menghasilkan mikrosfir  $UO_2$  dengan laju produksi yang tinggi dan karakteristik tertentu jika dilakukan pengaturan ulang pada laju dispersi dan durasi *droplet* jatuh bebas.

**Kata kunci:**  $UO_2$ , bahan bakar, sol-gel, mikrosfir, aerasi.

Masrukan K, M Husna Alhasa, Yanlinastuti. Korelasi Komposisi Unsur Terhadap Sifat Termal Serbuk Bahan Bakar U-ZrH<sub>x</sub>. Vol. 22 No. 2 , hal. 75.

**KORELASI KOMPOSISI UNSUR TERHADAP SIFAT TERMAL SERBUK BAHAN BAKAR U-ZrH<sub>x</sub>.** Telah dilakukan analisis untuk menentukan korelasi komposisi unsur terhadap sifat termal pada serbuk bahan bakar U-ZrH<sub>x</sub>. Serbuk U-ZrH<sub>x</sub> dibuat dari proses hidriding ingot U-Zr, dimana ingot U-Zr merupakan hasil peleburan logam U dan Zr. Dalam percobaan ini dibuat tiga variasi serbuk yaitu U-35ZrH<sub>x</sub>, U-45ZrH<sub>x</sub>, dan U-55ZrH<sub>x</sub>. Perlunya dilakukan penentuan kadar Zr terhadap sifat termal adalah untuk mengetahui pengaruh kadar Zr terhadap sifat transformasi panas dari bahan bakar tersebut. Mula –mula dilebur logam U dan Zr didalam tungku peleburan busur listrik hingga menghasilkan ingot U-Zr. Ingot U-Zr selanjutnya dibuat serbuk dengan teknik hidridring-milling hingga menghasilkan serbuk U-Zr. Serbuk U-Zr dianalisis komposisi dengan menggunakan teknik sepektroskopi serapan atom (AAS) dan sepektroskopi UV-Vis. Hasil analisis komposisi menunjukkan bahwa pada analisis untuk menentukan kandungan U dan Zr hampir semua sampel uji yang dianalisis mempunyai perbedaan yang cukup besar antara kandungan U dan Zr yang ditentukan dengan hasil analisis U dan Zr terkecuali hasil analisis pada serbuk U-45Zr yang hanya berbeda 0,609 %. Dari hasil pengujian unsur pengotor diperoleh bahwa semua unsur pengotor yang ada masih memenuhi persyaratan untuk bahan. Pengujian kapasitas panas yang dilakukan pada rentang temperatur  $35^\circ C$  hingga  $437^\circ C$  memperlihatkan bahwa nilai kapasitas yang paling besar adalah serbuk U-35ZrH<sub>x</sub> dengan nilai kapasitas panas sebesar  $0,13\ J/g.^{\circ}C$ . Sementara itu dari pengujian transisi perubahan fasa diperoleh bahwa pada U-45ZrH<sub>x</sub> mengalami dua tahapan reaksi disertai perubahan fasa. Dapat disimpulkan apabila dilihat dari kandungan U dan Zr belum bisa digunakan untuk bahan bakar, sedangkan dari analisis kandungan unsur pengotor diperoleh bahwa semua unsur yang ada masih memenuhi persyaratan untuk bahan bakar kecuali unsur Fe. Sementara itu hasil analisis sifat termal yaitu kapasitas panas diperoleh nilai kapasitas panas tertinggi pada serbuk U-35ZrH<sub>x</sub>, sedangkan dari pengujian transisi perubahan fasa diperoleh bahwa pada U-45ZrH<sub>x</sub> mengalami dua tahapan reaksi disertai perubahan fasa. Terdapat pengaruh komposisi terhadap sifat termalnya, dimana semakin tinggi kandungan Zr maka nilai kapaistas panas hidrida uranium zirkonium semakin rendah.

**Kata kunci:** komposisi, sifat termal, bahan bakar, U-ZrH<sub>x</sub>.

Jan Setiawan, Ganisa K Suryaman, Masrukan K. Perubahan Fasa 4H Dan 6H Sic Yang Teroksidasi Pada Temperatur Tinggi. Vol. 22 No. 2 , hal. 87.

**PERUBAHAN FASA 4H DAN 6H SIC YANG TEROKSIDASI PADA TEMPERATUR TINGGI.** Telah dilakukan proses oksidasi pada silikon karbida yang mengandung fasa 6H dan silikon karbida yang mengandung fasa 4H dan 6H. Silikon karbida merupakan keramik non oksida dengan sifat-sifat unggulnya yang sangat potensial digunakan dalam dunia industri. Dalam industri nuklir silikon karbida digunakan sebagai bahan struktur kelongsong pada bahan bakar reaktor air ringan *Light Water Reactor* (LWR) dan sebagai pelapis pada kernel bahan bakar reaktor gas temperatur tinggi (RGTT). Pada studi ini dilakukan simulasi oksidasi silikon karbida pada kernel apabila terjadi kegagalan pada pipa pendingin utamanya. Sampel dibentuk dari serbuk silikon karbida yang di pres hingga berbentuk pelet dengan diameter 12,7 mm dan ketebalan 1.0 mm kemudian dioksidasi pada temperatur  $1000^\circ C$ ,  $1200^\circ C$  dan  $1400^\circ C$  selama

1 jam. Sampel sebelum dan setelah dioksidasi dilakukan penimbangan dan pengujian difraksi sinar-X menggunakan Difraktometer Panalytical Empyrean dengan Cu sebagai sumber sinar-X. Analisis pola difraksi dilakukan menggunakan aplikasi *General Structure Analysis System* (GSAS), dengan hasil yang diperoleh adalah perubahan parameter kisi dan kandungan fasa SiC-nya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa semua sampel yang teroksidasi mengalami peningkatan berat. Oksidasi sampel 6S menyebabkan kenaikan berat tertinggi pada temperatur 1200 °C, sedangkan sampel 46S memiliki berat dengan kecenderungan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur oksidasi. Analisis pola difraksi sinar-X menunjukkan bahwa fasa dominan yang terbentuk pada sampel 6S adalah fasa 6H-SiC yang didekati dengan model dari kartu ICSD 98-001-5325. Pola difraksi sampel 6S menunjukkan adanya perubahan parameter kisi, perubahan komposisi dan perubahan ukuran kristalinitasnya. Perubahan panjang kisi memiliki kecenderungan berkurang dari nilai model dan sebelum dioksidasi, sedangkan komposisi silikon karbida paling rendah atau yang paling banyak terkonversi menjadi fasa lain mencapai 66,85 %, yang terjadi pada temperatur oksidasi 1200 °C. Sampel 46S mengandung fasa 4H-SiC dan 6H-SiC. Fasa 6H-SiC didekati dengan model dari kartu ICSD 98-016-4972 dan fasa 4H-SiC didekati dengan model dari kartu ICSD 98-016-4971. Pola difraksi sampel 46S menunjukkan adanya perubahan parameter kisi, perubahan komposisi dan perubahan ukuran kristalinitasnya. Perubahan panjang kisi pada sampel 46S tidak terlalu signifikan. Fasa 6H-SiC pada sampel 6S dan 46S dengan temperatur oksidasi 1400 °C mengalami perubahan menjadi fasa oksida dan lainnya sebesar lebih dari 50 % persen berat awalnya.

**Kata kunci:** silikon karbida, 4H-SiC, 6H-SiC, oksidasi, temperatur tinggi.

Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini. Metode Pengendapan Dan Penukar Kation Pada Proses Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar  $U_3Si_2-Al$ . Vol. 22 No. 2, hal. 99.

**METODE PENGENDAPAN DAN PENUKAR KATION PADA PROSES PEMISAHAN CESIUM DALAM BAHAN BAKAR  $U_3Si_2-Al$ .** Isotop  $^{137}Cs$  salah satu hasil fisi yang dapat digunakan sebagai monitor *burn up* untuk mempelajari kinerja bahan bakar selama iradiasi dalam reaktor. Untuk menganalisis isotop  $^{137}Cs$  dalam pelat elemen bakar (PEB)  $U_3Si_2-Al$  pasca iradiasi diperlukan metode yang valid agar diperoleh data yang akurat. Beberapa metode dapat digunakan untuk pemisahan  $^{137}Cs$  dalam PEB  $U_3Si_2-Al$ , antara lain adalah metode pengendapan dalam bentuk garam  $CsClO_4$  sesuai dengan ASTM E 320-79 dan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung. Proses pengendapan dilakukan dengan menggunakan serbuk  $CsNO_3$  sebagai senyawa pembawa (*carrier*) dan pereaksi  $HClO_4$ , sedangkan proses penukar kation dilakukan dengan penambahan zeolit Lampung. Tujuan penelitian adalah mendapatkan metode valid untuk pemisahan  $^{137}Cs$  dalam PEB  $U_3Si_2-Al$  pasca iradiasi, khususnya aspek pengaruh berat serbuk  $CsNO_3$  dan berat zeolit Lampung yang ditambahkan. Proses pengendapan isotop  $^{137}Cs$  dilakukan dengan memipet larutan PEB  $U_3Si_2-Al$  sebanyak 150  $\mu L$  kemudian ditambahkan serbuk  $CsNO_3$  dengan variasi berat 500; 625; 700 ; dan 1000 mg serta 4 mL  $HClO_4$  dalam pengangas es selama 1 jam. Hasil proses pengendapan diperoleh endapan  $^{137}CsClO_4$  yang terpisah dengan supernatan sebagai fasa cair. Sementara itu, proses penukar kation dilakukan dengan menambahkan zeolit Lampung variasi berat 700; 900; 1000 ; dan 1200 mg dengan pengadukan selama 1 jam. Hasil proses penukar kation diperoleh padatan  $^{137}Cs$ -zeolit dalam fasa padat dan isotop lainnya dalam fasa cair. Endapan  $^{137}CsClO_4$  dan padatan  $^{137}Cs$ -zeolit serta supernatan diukur kandungan  $^{137}Cs$  menggunakan spektrometer- $\gamma$ . Hasil analisis menunjukkan bahwa berat  $CsNO_3$  yang paling banyak mengikat  $^{137}Cs$  terjadi pada penambahan  $CsNO_3$  sebesar 700 mg yaitu sebesar 0,0472  $\mu g$ , sedangkan penambahan zeolit Lampung yang optimal diperoleh pada berat 1000 mg hingga 1200 mg dengan kandungan isotop  $^{137}Cs$  dalam padatan  $^{137}Cs$ -zeolit diperoleh sebesar 0,0557  $\mu g$ . Pemisahan isotop  $^{137}Cs$  menggunakan metode penukar kation dengan penambahan zeolit Lampung 1000 mg hingga 1200 mg mempunyai hasil lebih baik bila dibandingkan dengan metode pengendapan. Selain itu, pengerjaan dengan metode penukar kation lebih mudah serta lebih aman bila dibandingkan dengan metode pengendapan yang pengerjaannya harus dalam pengangas es (-4 C), menggunakan bahan kimia  $HClO_4$  dengan aceton dan etanol yang bersifat volatil dan eksotermik.

**Kata kunci:** Isotop  $^{137}Cs$ , zeolit, serbuk  $CsNO_3$ , metode penukar kation dan pengendapan.

Yanlinastuti, Boybul, Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini. Pengaruh Parameter Proses Elektrodeposisi Terhadap Penentuan Berat Isotop  $^{235}U$  Dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  Pasca Iradiasi. Vol. 22 No. 2, hal. 111.

**PENGARUH PARAMETER PROSES ELEKTRODEPOSISI TERHADAP PENENTUAN BERAT ISOTOP  $^{235}U$  DALAM PEB  $U_3Si_2/Al$  PASCA IRADIASI.** Parameter proses elektrodiposisi yang sangat mempengaruhi penentuan berat  $^{235}U$  dalam larutan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi adalah kuat arus, waktu proses, volume umpan dan jenis larutan buffer elektrolit iradiasi. Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan parameter proses elektrodeposisi yang optimum dalam menentukan berat isotop  $^{235}U$  dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi. Proses elektrodeposisi dilakukan dengan beberapa variasi parameter antara lain kuat arus 1; 1,2; dan 1,4 ampere dengan waktu 1; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0 jam, volume umpan standar  $U_3O_8$  % mulai dari 100; 300; 500; 700  $\mu L$  dengan variasi jenis larutan buffer elektrolit  $NH_4Cl$ ,  $NH_4OAc$ ,  $NH_4HSO_4$  dan  $(NH_4)_2SO_4$ . Hasil proses elektrodeposisi menunjukkan bahwa kondisi optimum proses elektrodeposisi untuk isotop  $^{235}U$  diperoleh pada kuat arus 1,2 ampere dengan waktu proses selama 2 jam serta jumlah volume umpan sebesar 300  $\mu L$  dengan buffer elektrolit  $NH_4HSO_4$  pada pH 3,5. Hasil proses elektrodeposisi diperoleh berat endapan isotop  $^{235}U$  sebesar 2,314  $\mu g$  dengan *recovery* pengendapan sebesar 99,91%. Parameter optimum yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk proses elektrodeposisi untuk menentukan berat isotop  $^{235}U$  yang terkandung di dalam larutan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi dengan volume umpan sebesar 300  $\mu L$ . Hasil pengukuran dan analisis dengan menggunakan spektrometer alpha diperoleh berat isotop  $^{235}U$  sebesar 0,403  $\mu g$  dengan *recovery* pengendapan sebesar 91,80 %. Dari hasil yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa metoda elektrodeposisi cukup baik digunakan untuk menentukan berat isotop  $^{235}U$  di dalam larutan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi.

**Kata kunci:** elektrodeposisi, isotop  $^{235}U$ , spektrometer alpha, PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi.

I. Saptiama, Herlina, Sriyono, E. Sarmini, Abidin, Kadarisman. Pembuatan Radionuklida Molibdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) Hasil Aktivasi Neutron Dari Molibdenum Alam Untuk Memperoleh Teknesium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ). Vol. 22 No. 2 , hal. 121.

**PEMBUATAN RADIONUKLIDA MOLIBDENUM-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) HASIL AKTIVASI NEUTRON DARI MOLIBDENUM ALAM UNTUK MEMPEROLEH TEKNESIUM-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ).** Pembatasan penggunaan uranium sebagai target untuk produksi  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  menyebabkan rumah sakit di Indonesia kesulitan mendapatkan pasokan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Saat ini  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  diperoleh dari  $^{99}\text{Mo}$  hasil fisi (pembelahan uranium). Pembuatan radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  dari aktivasi neutron molibdenum alam ( $\text{MoO}_3$ ) di teras reaktor G.A Siwabessy digunakan sebagai metode alternatif untuk memperoleh  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan pembuatan radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  dari aktivasi neutron molibdenum alam untuk memperoleh  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Serbuk  $\text{MoO}_3$  alam sebanyak 5g dikemas dalam ampul kuarsa dan dimasukkan ke dalam *inner capsul* selanjutnya dikemas menggunakan *outer capsul* sebagai bahan target. Bahan target diiradiasi di reaktor G.A Siwabessy selama 100 jam. Hasil perhitungan diperoleh aktivitas  $^{99}\text{Mo}$  sebesar 65 % dari nilai maksimum yang dapat diperoleh.  $\text{MoO}_3$  paska iradiasi dilarutkan dengan  $\text{NaOH}$  4 M sehingga diperoleh larutan natrium molibdat ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ). Radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  dan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  diukur menggunakan spektrometer gamma. Radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  terdeteksi dalam produk larutan  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  dengan aktivitas jenis  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh sebesar 0,81 Ci  $^{99}\text{Mo/g Mo}$ . Radionuklida anak luruh  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  dipisahkan dari radionuklida induk  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan kolom pemisah yang berisi material berbasis zirkonium (MBZ) sebagai penyerap  $^{99}\text{Mo}$ . Radionuklida  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  hasil pemisahan diperoleh dalam bentuk natrium pertechnetat ( $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ ). dengan *recovery* yang masih rendah yaitu sekitar 52 hingga 71 %.

**Kata kunci:** molibdenum, teknesium, radionuklida, pemisahan, iradiasi



## ABSTRACT

Meniek Rachmawati, Ety Mutiara, Tri Yulianto... *UO<sub>2</sub> Microsphere Fabrication Using Aeration Technique* . Vol. 22 No. 2 , page 66.

**UO<sub>2</sub> MICROSPHERE FABRICATION USING AERATION TECHNIQUE.** It has been developed a fabrication process of low density UO<sub>2</sub> microspheres for direct feed in pelletization process of PHWR advanced reactor fuel. The fabrication has been implemented by a sol-gel method using aeration technique on the sol / broth with external methods and three variations of gelation. In the aeration technique, broth is directly prepared in gelation mode without one night settling time. The aeration technique is the opposite of the deaeration technique, which is used in fabricating microspheres HTGR fuel. The broth which has been prepared with a mole ratio of NO<sub>3</sub> / U between 1.5 to 1.7 with pH solution of 1.6 and viscosity between 630-660 cP directly to be gelated in three ways of gelation. The process of both gelation method 1 and method 2 is implemented by passing through the broth to a dispersion nozzle with 1 mm of diameter which is vibrated by an electromagnetic vibrator at 150 Hz with medium for free fall droplet differently before entering into a solution of NH<sub>4</sub>OH, while the gelation method 3 implemented manually. The wet UO<sub>2</sub> microspheres derived from the three ways of gelation above are treated by heating process at the same way that is dried at a temperature of 85°C and 220°C each respectively for 1 hour, followed by a calcination process of microspheres UO<sub>2</sub> for 1 hour at a temperature of 500°C in gaseous medium of O<sub>2</sub> and a reduction process at a temperature of 600°C in gaseous mixture of N<sub>2</sub> and H<sub>2</sub> medium for 1 hour. The UO<sub>2</sub> microspheres gelation of method 3 are chosen to be sorted and characterized. The characterization results provide the characteristics data of UO<sub>2</sub> microspheres in the form of microspheres diameter of 900 μm, tap density of 1.90 g / cm<sup>3</sup> and specific surface area of 6 m<sup>2</sup> / g. The results of the analysis and characterization are then compared to other data of other research so that it can be concluded that the use of such an aeration technique on the broth can produce low density UO<sub>2</sub> microspheres that qualify as direct feed for fuel pelletization process of the advanced PHWR and advanced PWR. The fabrication using the aeration technique with gelation method 2 has the greatest opportunity to produce UO<sub>2</sub> microspheres with a high production rate and certain characteristics if it is implemented by resetting the rate of dispersion and the free fall droplet duration.

**Keywords:** UO<sub>2</sub> , fuel, sol-gel, microsphere, aeration.

Masrukan K, M Husna Alhasa, Yanlinastuti. *Composition Correction On The Thermal Properties Of U-ZrH<sub>x</sub> Fuel Powders* . Vol. 22 No. 2 , page. 76.

**COMPOSITION CORRECTION ON THE THERMAL PROPERTIES OF U-ZrH<sub>x</sub> FUEL POWDERS.** Analysis has been conducted to determine the elements composition correlation on the thermal properties of the powder fuel U-ZrH<sub>x</sub>. U-ZrH<sub>x</sub> powder made from the process hydriding U-Zr ingot, where the ingot is the result of U-Zr and Zr U metal melting. In this experiment made three variations of powders, namely U-35ZrH<sub>x</sub>, U-45ZrH<sub>x</sub>, and U-55ZrH<sub>x</sub>. Need for determination of the thermal properties of Zr was to determine the effect of the nature of the transformation of Zr levels of heat from the fuel. At first, U and Zr metal is melted in electric arc furnaces to produce ingot U-Zr. U-Zr ingot then made powder with hydriding-milling techniques to produce U-Zr powder. U-Zr powder composition analyzed using techniques sepectroscopy atomic absorption (AAS) and UV-Vis spectroscopy. The results of composition analysis showed that the analysis to determine the content of U and Zr nearly all the test samples analyzed have quite a big difference between the content of U and Zr as determined by the results of the analysis of U and Zr exception analysis result in powder U-45Zr which differ only 0.609%. From the analysis of impurities obtained that nearly all the impurities that exist still meet the requirements for fuel unless the elements Fe, where elements of the existing Fe amounted to 382.912 g/g while the requirement of ≤ 250 mg /μg. Testing conducted heat capacity in the temperature range 35 ° C to 437 ° C showed that the capacity were greatest powder 35ZrH<sub>x</sub> U-with a value heat capacity of 0.13 J/g.°C. Meanwhile, test results obtained transition phase change that the U-45ZrH<sub>x</sub>, undergo two stages of reaction with phase change. It can be concluded when seen from the content of U and Zr can not be used for fuel, while the analysis of the content of impurities found that all the elements that are still eligible for the fuel unless the element Fe. For the analysis of the thermal properties are the heat capacity of the highest values obtained in powder U-35ZrH<sub>x</sub>, while the transition from the testing phase changes shows that the U-45ZrH<sub>x</sub> undergo two stages of reaction with phase change. There is an effect of the composition on the thermal properties, where the higher the content of Zr, the value of uranium zirconium hydride heat capacity is lower.

**Keywords:** composition, thermal properties, fuels, U-ZrH<sub>x</sub>.

Jan Setiawan, Ganisa K Suryaman, Masrukan K... *Phase Changes On 4H And 6H Sic At High Temperature Oxidation* Vol. 22 No. 2 , 88.

**PHASE CHANGES ON 4H AND 6H SIC AT HIGH TEMPERATURE OXIDATION.** The oxidation on two silicon carbide contain 6H phase and contains 6H and 4H phases has been done. Silicon carbide is ceramic non-oxide with excellent properties that potentially used in industry. Silicon carbide is used in nuclear industry as structure material that developed as light water reactor (LWR) fuel cladding and as a coating layer in the high temperature gas-cooled reactor (HTGR) fuel. In this study silicon carbide oxidation simulation take place in case the accident in primary cooling pipe is ruptured. Sample silicon carbide made of powder that pressed into pellet with diameter 12.7 mm and thickness 1.0 mm, then oxidized at temperature 1000 °C, 1200 °C dan 1400 °C for 1 hour. The samples were weighted before and after oxidized. X-ray diffraction conducted to the samples using Panalytical Empyrean diffractometer with Cu as X-ray source. Diffraction pattern analysis has been done using General Structure Analysis System (GSAS) software. This software was resulting the lattice parameter changes and content of SiC phases. The result showed all

of the oxidation samples undergoes weight gain. The 6S samples showed the highest weight change at oxidation temperature 1200 °C, for the 46S samples showed increasing tendency with the oxidation temperature. X-ray diffraction pattern analysis showed the 6S samples contain dominant phase 6H-SiC that matched to ICSD 98-001-5325 card. Diffraction pattern on 6S showed lattice parameter, composition and crystallite size changes. Lattice parameters changes had smaller tendency from the model and before oxidation. However, the lowest silicon carbide composition or the highest converted into other phases up to 66.85 %, occurred at oxidation temperature 1200 °C. The 46S samples contains two polytypes silicon carbide. The 6H-SiC phases matched by ICSD 98-016-4972 card and 4H-SiC phase matched by ICSD 98-016-4971 card. Diffraction pattern on 46S also showed lattice parameter, composition and crystallite size changes. The lattice parameter changes not significant. For 6S and 46S samples at 1400 °C, the 6H-SiC phase changes into other phases more than 50 % from its original weight percentage.

**Keywords:** silicon carbide, 4H-SiC, 6H-SiC, oxidation, high temperature.

Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini. *Precipitation Method And Kation Exchange Method For Cesium Separation Of  $U_3Si_2$ -Al Fuel Element* Vol. 22 No. 2, page 100.

**PRECIPITATION METHOD AND KATION EXCHANGE METHOD FOR CESIUM SEPARATION OF  $U_3Si_2$ -Al FUEL ELEMENT.**  $^{137}Cs$  isotope was one of the fission products which could be used as a burn up monitor to study the performance of the fuel during irradiation in a reactor. For analyzed  $^{137}Cs$  isotope in post-irradiation  $U_3Si_2$ -Al fuel element plate (PEB), it was needed a valid method to obtain accurate data. Several methods could be used for  $^{137}Cs$  separation from  $U_3Si_2$ -Al PEB solution were precipitation method in  $CsClO_4$  salt form according to ASTM E 320-79 and cation exchange method using Lampung zeolite. The precipitation process was done using  $CsNO_3$  powder as a carrier substance and  $HClO_4$  reagent, while the cation exchange process was done by the addition of Lampung zeolite. The objective research was getting a valid method for  $^{137}Cs$  separation in post-irradiation  $U_3Si_2$ -Al PEB, especially for the aspects of  $CsNO_3$  powder weight influence and weight of zeolite Lampung was added.  $^{137}Cs$  isotope precipitation process was done by pipetting 150 mL  $U_3Si_2$ -Al PEB solution which was added to the 500; 625; 700; and 1000 mg weight variation  $CsNO_3$  powder and 4 mL  $HClO_4$  in ice media for 1 hour. The precipitation process results was obtained  $CsClO_4$  precipitate separated from the supernatant as a liquid phase. Mean while, the cation exchange process was done by adding 700; 900; 1000 and 1200 mg weight variation Lampung zeolite by shaking for 1 hour. The cation exchange process results was obtained  $^{137}Cs$ -zeolite in the solid phase and the other isotopes in the liquid phase. The  $^{137}Cs$  content in  $^{137}CsClO_4$  precipitate,  $^{137}Cs$ -zeolite solid phase and supernatant was measured using spectrometre- $\gamma$ . The analysis showed that the optimum weight of  $CsNO_3$  addition when most binding of  $^{137}Cs$  occurred was 700 mg equal to 0.0472 g  $^{137}Cs$  isotope, while the optimum weight addition of Lampung zeolite was 1000 mg until 1200 mg equal to  $^{137}Cs$  isotope content in  $^{137}Cs$ -zeolite obtained was 0.0557 g. The  $^{137}Cs$  isotope separation process using both methods could be concluded that the cation exchange method using zeolite by the addition of 1000 mg Lampung zeolite until 1200 mg had better result than the precipitation method. The other advantages of this method were easier and saver than precipitation methods that the process should be in ice batch (-4°C), using chemicals  $HClO_4$ , acetone and ethanol which had volatile and exothermic character.

**Keywords:**  $^{137}Cs$  isotope, zeolite,  $CsNO_3$  powder, cation exchange and precipitation method.

Yanlinastuti, Boybul, Aslina Br.Ginting, Dian Anggraini .. *Eelectrodeposition Parameter Effect On The Determiation Of  $^{235}U$  Isotope In  $U_3Si_2$ /Al Irradiated Fuel Element* Vol. 22 No. 2 , page 112.

**ELECTRODEPOSITION PARAMETER EFFECT ON THE DETERMINATION OF  $^{235}U$  ISOTOPE IN  $U_3Si_2$ /Al IRRADIATED FUEL ELEMENT.** Electrodeposition process for determination of  $^{235}U$  isotope is effected by current, contact time, feed volume and type of buffer solution. The aim of this research is to obtain optimum parameter of electrodeposition process for  $^{235}U$  determination in  $U_3Si_2$ /Al irradiated fuel plate. Electrodeposition process is done by some variation of parameters, that are the current 1; 1.2; and 1.4 ampere with variation of time 1; 1.5; 2.0; 2.5 and 3.0 hours. The standard solution volume of 20%  $U_3O_8$  are 100; 300; 500; 700  $\mu L$  with variation of electrolyte buffer solution  $NH_4Cl$ ,  $NH_4OAc$ ,  $NH_4HSO_4$  dan  $(NH_4)_2SO_4$ . The result of electrodeposition process showed that optimum condition electrodeposition process for  $^{235}U$  isotope was obtained currents 1.2 ampere with process time during 2 hours, and 300  $\mu L$  volume feed with electrolyte buffer  $NH_4HSO_4$  in pH 3,5 .The results of the electrodeposition process was obtained 2.314  $\mu g$  deposition of the isotope  $^{235}U$  with recovery of 99.91%. The condition optimum parameter above was used for electrodeposition process in determination of  $^{235}U$  isotope which contained in  $U_3Si_2$ /Al irradiated fuel element. The spectrometer alpha analysis was obtained weight of  $^{235}U$  isotope as 0.403  $\mu g$  with recovery of 91.80%. The conclusion of this research, the electrodeposition methods is good enough to be used for determining  $^{235}U$  isotope in  $U_3Si_2$ /Al irradiated fuel plate.

**Keywords:** electrodeposition,  $^{235}U$  isotope, alpha spectrometre,  $U_3Si_2$ /Al irradiated fuel plate.

I. Saptiama, Herlina, Sriyono, E. Sarmini, Abidin, Kadarisman. *Production Of Activated Neutron Molybdenum-99 ( $^{99}Mo$ ) Radionuclide From Natural Molybdenum To Obtain Technetium-99m ( $^{99m}Tc$ )*. Vol. 22 No. 2 , hal. 122.

**PRODUCTION OF ACTIVATED NEUTRON MOLYBDENUM-99 ( $^{99}Mo$ ) RADIONUCLIDE FROM NATURAL MOLYBDENUM TO OBTAIN TECHNETIUM-99m ( $^{99m}Tc$ ).** Uranium usage restriction causes the hospitals in Indonesia difficult to obtain the supply of  $^{99m}Tc$ . At Present,  $^{99m}Tc$  is obtained from molybdenum as a uranium fission product. Production of  $^{99}Mo$  radionuclide resulted from neutron activated natural molybdenum ( $MoO_3$ ) in G.A Siwabessy reactor could be used as a alternatif method for producing  $^{99m}Tc$ . The aim of this research is synthesize of  $^{99}Mo$  radionuclide from neutron activated natural molybdenum ( $MoO_3$ ) to obtain  $^{99m}Tc$ . The five gs of  $MoO_3$  powder was packed in a quartz ampule and inserted into inner capsule then also inserted into outer capsule as a target material. It was

irradiated in G.A Siwabessy reactor for 100hours. Based on theoretical calculation, about 65 % of maximum  $^{99}\text{Mo}$  activity could be recovered. After Irradiation,  $\text{MoO}_3$  was dissolved by  $\text{NaOH}$  4 M solution so it was natrium molybdate ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) solution.  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  radionuclide were analyzed using gamma spectrometer.  $^{99}\text{Mo}$  radionuclide was detected on  $\text{Na}_2\text{MoO}_4$  solution as product that had specific activity of 0.81 Ci  $^{99}\text{Mo}$ / g Mo.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  as daughter radionuclide was separated from  $^{99}\text{Mo}$  as parent radionuclide using separated column containing zirconium based material (ZBM) as  $^{99}\text{Mo}$  adsorbent.  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  radionuclide has been successfully separated using ZBM column although recovery of  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  was quite low in which approximately 52 to 71 %. The  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  radionuclide was recovered in the form of sodium pertechnetate ( $\text{NaTcO}_4$ ) solution.

**Keywords:** molybdenum, technetium, radionuclide, separation, irradiation.

## 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. 2 (edisi Juni 2016).

Juni, 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, perekayasa, 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 Mg<sub>2</sub>Ni 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.