

ISSN 0852 - 4777

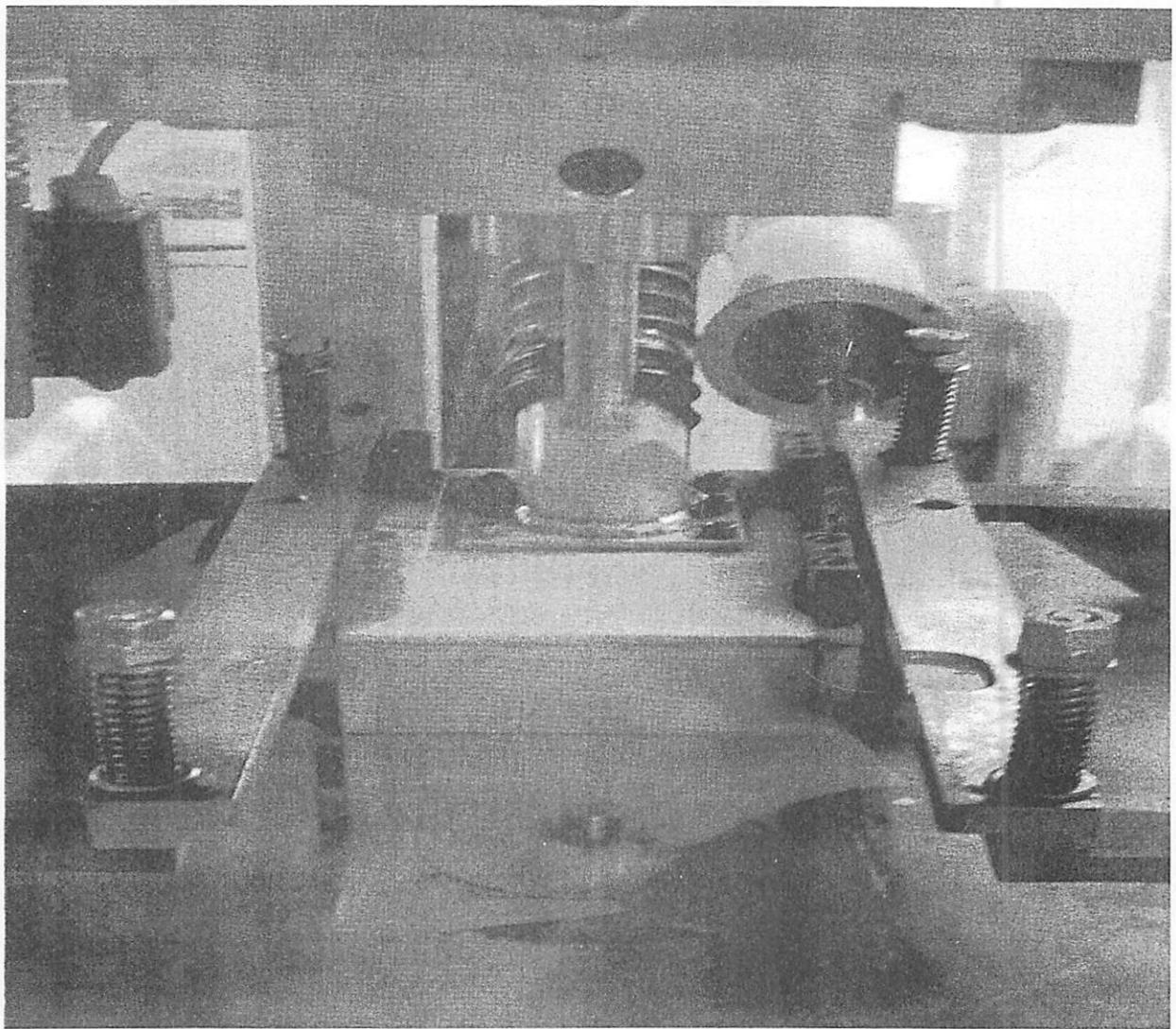
Akreditasi No. : 71 / Akred-LIPI / P2MB / 5 / 2007

# Urania

Buletin Triwulan Daur Bahan Bakar Nuklir

Vol. 13 No. 4

Oktober 2007



*Mesin Pengompak ME 21 untuk pembuatan pelet UO<sub>2</sub>*

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

Urania	Vol. 13	No. 4	Hal. 147-190	Serpong Oktober2007	ISSN 0852 - 4777
--------	---------	-------	--------------	------------------------	------------------

# URANIA

---

## Buletin Triwulan Daur Bahan Bakar Nuklir

---

Vol. 13 No.4, Oktober 2007

Buletin Urania adalah wahana informasi tentang Daur Bahan Bakar Nuklir yang berisi hasil penelitian, kajian dan pengembangan, maupun tulisan ilmiah terkait. Terbit pertama kali pada tahun 1995 dengan frekuensi terbit empat kali dalam setahun, pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober.

**Penanggung Jawab**  
Kepala PTBN

**Staf Ahli**  
Komisi Pembina Tenaga Fungsional

**Dewan Redaksi**  
**Pemimpin**  
Ir. Masrukan

**Wakil Pemimpin**  
Drs. Sugondo, M.Eng

**Sekretaris**  
Ir. Nur Tri Harjanto

**Anggota Redaksi**  
Ir. M.Husna Alhasa, MSc  
Dr. Ir. Suwardi, D.EA  
Ir. Sarjono, MSc  
Ir. Futichah, MT  
Johanna M.C.J, MSc

**Anggota Redaksi Tamu**  
Prof. Ir. Amiral Aziz, MSc (BPPT)  
Dr. Ir. Tjahyo Pranoto, M.Eng (BPPT)  
Dr. Yanni Sudyani (LIPI)  
Drs. Akhmad Saufan, M.T (UNJ)  
Ir. Rudy Setya Wahjudi, M.T (USAkti, Jakarta)

**Tata Letak**  
Bening Farawan

**Tata Usaha dan Distribusi**  
Slamet Santosa

---

**Penerbit**  
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN), BATAN

---

**Alamat Redaksi**

PTBN, BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong 15314  
Telp. 021-756-0915  
Faks. 021-756-0909

e-mail : [ptbn@batan.go.id](mailto:ptbn@batan.go.id) ; [Masrukan\\_2006@yahoo.com](mailto:Masrukan_2006@yahoo.com)

---

# URANIA

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

### DAFTAR ISI KOMULATIF VOLUME 13, TAHUN 2007

#### Daftar Isi

Pengantar Redaksi			i
Pengaruh Rapat Arus dan Waktu <i>Electroplating</i> Terhadap Ketebalan Lapisan Nikel Pada Foil Uranium (M. Husna Al Hasa)	01	-	10
Korelasi Waktu Peleburan Paduan AlMgSi1 Terhadap Komposisi Bahan dan Sifat Termalnya (Masrukan)	11	-	17
Pengaruh Konsentrasi Ekstraktan TBP D2EHPA dan TOA Terhadap Efisiensi Ekstraksi Uranium Dalam Limbah Cair (Ngatijo, Pranjono)	18	-	28
Pengaruh Tingkat <i>Stripping</i> Terhadap Efisiensi Hasil Ekstraksi Gagal Pelat Elemen Bakar $U_3Si_2$ -Al Pada Pemungutan Uranium Dalam Fasa Organik (Torowati, Asminar)	29	-	34
Peningkatan Kandungan Silika Untuk Pembuatan Bahan Bakar $U_3Si_2$ -Al Melalui Proses Elektrodialisis (Hendro Wahyono)	35	-	39
Kalibrasi Alat Spektrofluorometer Luminesen LS-5B Menggunakan Bahan Standar Ovalen (Noviarty)	40	-	45
Daftar Isi			
Pengantar Redaksi			i
Pengaruh Pola Arus dan Waktu Pengelasan Pada Sambungan Las Tutup Kelongsong Zirkaloi-2 Terhadap Laju Korosi Dalam Uap Air (Futichah, Djoko K dan Saeful Hidayat)	46	-	53
Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Ketahanan Korosi Batas Butir Baja Tahan Karat Austenitik Tipe 304 (Maman Kartaman A, ST dan Junaedi)	54	-	59
Analisis Termal Zeolit Lampung sebagai Penukar Ion Cesium (Aslina Br.Ginting, Dian Anggraini dan Arif Nugroho)	60	-	65

Analisis Unsur-Unsur Dalam Sedimen laut Menggunakan Spektrometer Gamma (Boybul dan Iis Haryati)	66	-	73
Pemetaan Kontaminan radioaktif Alpha Di Udara Dalam Ruang Perbaikan Hot Cell dan Laboratorium Radioaktifitas Sedang Instalasi Radiometalurgi (Yusuf Nampira, Endang Sukei, S. Wahyuningsih dan R Budi Santoso)	74	-	82
Evaluasi Paparan Radiasi Periode Tahun 2006 di Instalasi Radiometalurgi (Muradi dan Budi Prayitno)	83	-	92
Disain Pencuplik Udara Buang Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (Budi Prayitno)	93	-	98
Pengantar Redaksi			i
Daftar Isi			ii
Formasi Fasa dan Mikrostruktur Bahan Struktur Paduan Aluminium Ferro-Nikel Hasil Proses Sintesis (M.Husna Alhasa)	99	-	107
Studi Komparasi Hasil Analisis Komposisi Paduan AlMgSi1 Dengan Menggunakan <i>X RAY Fluorocency (XRF)</i> Dan <i>Emission Spectroscopy</i> (Masrukan , Dian Anggraini dan Rosika )	108	-	115
Analisis Pb Dalam Uranil Nitrat Dengan Menggunakan spektrofotometri Luminesen (Noviarty)	116	-	122
Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Termal Paduan U-Zr Dengan Variasi Kandunagn Zr (Aslina Br Ginting , Masrukan, M.Husna Al Hasa)	123	-	132
Penurunan Kandungan Fluor (F) Dalam Efluen Dengan Menggunakan Membran Tukar Anion (MTA) (Hendro Wahyono, Sunardi dan Agus Sartono DS)	133	-	139
Evaluasi Hasil Pengukuran Ketebalan Inti Elemen Bakar Dengan Menggunakan Metoda Statistik (Yanlinastuti dan Sutri Indaryati)	140	-	146
Pengantar Redaksi			i
Daftar Isi			ii
Kajian pengaruh Bentuk Butir Serbuk UMo Dalam Fabrikasi Bahan Bakar Dispersi UMo-Al Tipe Pelat (Supardjo, Ghaib Widodo)	147	-	154
$\gamma$ - Ray Irradiation Effects on the Characteristics of New Material P Type 6H-SiC Ni-Schottky Diodes (Application For Nuclear Fuel Facilities) (U. Sudjadi, T. Ohshima, N. Iwamoto, S. Hishiki, and K. Kawano)	155	-	159

Penentuan Kandungan Thorium Dalam Urin Dengan Analisis Aktivasi Neutron dan Spektrometri Alfa (Mukh Syaifudin)	160	-	166
Pemungutan Serbuk $U_3Si_2$ dari PEB $U_3Si_2 - Al$ Secara Elektrolisis Dengan Elektroda Selektif (Ghaib Widodo, Supardjo)	167	-	172
Penentuan Nilai Ketidakpastian Pengukuran Pipet Gondok (Torowati, Asminar, Rahmiati, Arif Sasongko Adi)	173	-	179
Pengaruh Diversifikasi Bahan Bakar Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap ( PLTGU ) (Amiral Aziz, Panca Porakusuma)	180	-	190

## PENGANTAR REDAKSI

Sidang Pembaca Yang Terhormat,

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah swt, karena dengan rahmat Nya Buletin Urania volume 13 no 4 dapat hadir ke hadapan Pembaca. Masih seperti pada terbitan nomor sebelumnya, pada terbitan nomor ini redaksi menambahkan informasi teknologi (INFOTEK) terutama teknologi yang ada di Pusat Teknologi Bahan bakar Nuklir (PTBN)-BATAN.

Topik pertama pada penerbitan ini membahas mengenai teknologi bahan yakni masalah bahan bakar rektor riset yang ditulis dengan judul Kajian Pengaruh Bentuk Butir Serbuk UMo Dalam Fabrikasi Bahan Bakar Dispersi UMo-Al Tipe Pelat. Dari Uraian pada tulisan tersebut Pembaca akan memperoleh informasi pengaruh bentuk butir UMo Dalam Fabrikasi Bahan Bakar Dispersi Tipe Pelat. Tulisan berikutnya masih mengetengahkan masalah teknologi bahan yang ditulis dengan judul  *$\gamma$ -Ray Irradiation Effects on the Characteristics of Material P Type 6H-SiC Ni-Schottky Diode (Application for Nuclear Fuel Facilities)*. Dari tulisan tersebut Pembaca dapat memperoleh informasi mengenai efek irradiasi sinar  $\gamma$  terhadap material P Type 6H-SiC Ni-Schottky Diode dimana material tersebut dapat digunakan dalam bahan bakar nuklir.

Topik berikutnya mengetengahkan tulisan dalam bidang analisis kimia dan teknologi proses. Pada bidang analisis kimia ditampilkan tulisan dengan judul Penentuan Kandungan Thorium Dalam Urin Dengan Analisis Aktivasi Neutron dan Spektrometri Alfa. Sementara itu dalam bidang teknologi proses ditampilkan tulisan dengan judul Pemungutan Serbuk  $U_3Si_2$ -Al Secara Elektrolisis Dengan Menggunakan Elektroda Selektif.

Pada tulisan berikutnya dalam buletin ini mengetengahkan tulisan dengan topik statistika dan energi. Tulisan dengan topik statistika membahas masalah nilai ketidakpastian pengukuran pipet gondok. Tujuan penentuan nilai ketidakpastian dalam pengukuran untuk mengetahui suatu rentang nilai pengukuran dimana diantara rentang nilai tersebut terdapat nilai yang sebenarnya dari besaran yang diukur. Untuk topik energi, sebagai penutup dalam buletin ini ditampilkan tulisan dengan judul Pengaruh Diversifikasi Bahan Bakar Terhadap Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap (PLTGU).

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

Oktober, 2007  
DEWAN REDAKSI

## PENENTUAN KANDUNGAN THORIUM DALAM URIN DENGAN ANALISIS AKTIVASI NEUTRON DAN SPEKTROMETRI ALFA

Mukh Syaifudin

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN  
Jl. Cinere Pasar Jum'at PO BOX 7043 JKSKL Jakarta, Tel. 021-7513906

### ABSTRAK

**PENENTUAN KANDUNGAN THORIUM DALAM URIN DENGAN ANALISIS AKTIVASI NEUTRON DAN SPEKTROMETRI ALFA.** Kontaminasi interna oleh radionuklida yang masuk tubuh melalui pernafasan seringkali ditentukan dengan analisis urin. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan suatu metoda yang cepat dan sederhana untuk menentukan kandungan thorium dalam urin. Metoda didasarkan pada perbandingan aktivitas antara sampel ditambah Th-232 standard dengan tanpa standard. Sampel urin dibagi dua, salah satunya ditambah standard, kemudian keduanya diproses bersama-sama meliputi pelarutan bahan organik, pengendapan thorium dengan amonium hidroksida, pencucian dengan akuades dan pelarutan dalam asam nitrat. Larutan diaktivasi selama 15 menit pada fluks neutron  $10^{12} \text{ ncm}^{-2} \text{ det}^{-1}$  dan hasil aktivasi diendapkan dua kali dengan ammonium hidroksida bersama pengemban lanthanum dan natrium klorida. Akhirnya endapan dilarutkan kembali dalam asam nitrat dan emisi gamma dari Th-233 dianalisis dengan spektrometri gamma. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Th-232 dalam urin dari empat sample yang dianalisis berturut-turut adalah tidak terdeteksi (TTD), 200,40; 273,88; dan 22,03 pg/l. Dengan prosedur yang sederhana, analisis aktivasi neutron dapat digunakan untuk mengetahui kandungan aktinida dalam beberapa jenis sampel biologik.

**Kata kunci :** Thorium, urine, AAN, spektrometri alfa

### ABSTRACT

**THE DETERMINATION OF THORIUM CONTENTS IN URINE WITH NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS AND ALPHA SPECTROMETRY.** Internal contamination by a radionuclide that entered into body through inhalation is most conveniently determined by using urine as sample. The aim of this research was developing a fast and simple method to determine thorium content in urine. The method was based on comparison of the activities between the sample added with and without standard thorium. Urine sample was divided into two parts, one of which was added with Th-232 standard, and then both were simultaneously proceed which was consist of decomposition of organic materials, precipitation of thorium by adding ammonium hydroxide, wash with aquadest, and then dissolution in nitric acid. The solution was then activated for 15 minutes with neutron flux of  $10^{12} \text{ ncm}^{-2} \text{ det}^{-1}$  and the activated product was co-precipitated two times with lanthanum carrier and sodium chloride by addition of ammonium hydroxide. Finally, the precipitate was dissolved in nitric acid and the gamma emission of Th-233 was analyzed with gamma spectrometry. The results of analysis showed that the concentration of four urine samples analyzed was below detection limit (BDL); 200.40; 273.88 and 22.03 pg/l, respectively. With the simple procedure, neutron activation analysis can be used in the determining the actinide contents in several types of biologic sample.

**Key word:** Thorium, urine, AAN, spektrometri alfa

## PENDAHULUAN

Penentuan aktinida dengan metoda spektrometri alfa merupakan prosedur standard praktis untuk bioassay dan pemantauan lingkungan. Akan tetapi saat ini senyawa thorium yang bersifat tak terlarut lebih banyak ditentukan dengan menggunakan metoda urin-analisis karena spektrometri alfa belum memiliki batas yang adekuat (cukup) untuk digunakan dalam mengevaluasi dosis perorangan dengan tepat. Dengan demikian perlu dilakukan dengan metoda lain seperti sampling udara, akan tetapi hal ini mungkin tidak representatif untuk lingkungan pekerjaan dengan kondisi yang memadai. Dengan menggunakan bahan-bahan untuk preparasi sumber yang sesuai, metoda spektrometri alfa dapat dikombinasikan dengan analisis aktivasi neutron yang merupakan salah satu metoda paling sensitif untuk menentukan Th-232<sup>[1]</sup>.

Suatu metoda yang banyak dipergunakan untuk mengetahui tingkat paparan inhalasi unsur-unsur radioaktif dalam industri yang memanfaatkan isotop radioaktif dapat ditentukan dengan analisis urin. Keandalan teknik ini dipengaruhi oleh sifat kelarutan partikel yang terhirup dalam cairan tubuh dan tingkat sensitivitas metoda. Di samping itu, untuk menginterpretasikan data analisis urin harus diketahui hubungan antara konsentrasi radionuklida dalam urin dan jumlah nuklida tersebut yang terendap dalam tubuh. Hubungan ini dapat diperoleh dari studi dengan hewan percobaan atau berdasarkan penentuan kandungannya dalam tubuh seseorang yang terkontaminasi<sup>[2]</sup>. Namun analisis urin tidak dipergunakan secara meluas untuk pemantauan thorium secara rutin karena sebagian besar thorium yang dipergunakan dalam industri bersifat tidak larut bila terendap dalam paru-paru. Oleh karena itu pemantauan paparan biasanya

didasarkan pada pengukuran thorium di udara atau pengukuran seluruh tubuh. Meskipun metoda tersebut dapat digunakan untuk menentukan kandungan thorium dalam urin, tetapi data yang diperoleh tidak menunjukkan bahwa teknik tersebut dapat digunakan untuk mengetahui perubahan konsentrasi paparan debu thorium di udara. Metoda pemantauan paparan ini juga kurang baik bila ditujukan untuk pemantauan rutin.

Analisis udara kasar (*gross*) tidak dapat menunjukkan ukuran bahan yang terendap dalam tubuh. Besarnya pengendapan tergantung pada ukuran dan kerapatan partikel di udara, dan hal ini harus diperhitungkan. Analisis feses juga berguna untuk mengidentifikasi paparan pada seseorang tetapi tidak dapat menunjukkan seberapa besar kandungan debu udara yang terendap dalam tubuh<sup>[2]</sup>. Pencacahan *in vivo* seluruh tubuh merupakan teknik yang canggih tetapi hanya sedikit instansi yang memiliki fasilitas ini. Di samping itu sebaiknya tidak terjadi paparan tambahan oleh thorium selama beberapa hari sebelum dilakukan pencacahan *in vivo* sehingga produk turunan yang tidak dalam keseimbangan akan meluruh. Jika fasilitas tidak memiliki alat pencacah ini, maka akan terjadi paparan bebas di samping waktu dan biaya perjalanan.<sup>[3]</sup>

Analisis aktivasi neutron (AAN) adalah teknik analitik handal yang didasarkan pada pengukuran radiasi karakteristik dari radionuklida yang terbentuk langsung atau tidak langsung oleh iradiasi neutron pada bahan yang diuji. Sejak lima dekade yang lalu, teknik AAN ini sangat berguna dalam menentukan unsur minor dan kelumit dalam berbagai bidang kehidupan seperti analisis lingkungan, nutrisi, dan kesehatan, geologik serta ilmu bahan. Sumber neutron utama adalah reaktor riset. AAN juga memiliki keunggulan dibanding metoda lain seperti spektrometri absorpsi atom

(AAS), fluoresensi sinar-X (XRF) dan *inductively coupled plasma* (ICP) dengan prospek yang baik di negara-negara berkembang. Keunggulan tersebut antara lain bahwa AAN relatif bebas dari matriks dan efek pengganggu, tidak perlu blangko analitis, spesifitas tinggi didasarkan pada karakteristik masing-masing radionuklida yang terbentuk, potensi keakuratan karena dasar-dasar teoritis yang telah mantap, tak terganggu pada sifat dari metoda tetapi pada inti yang berlainan dengan metoda analitik lain yang berdasar pada sifat elektronik, dan lain-lain

[4]

Makalah ini menyajikan metoda penentuan thorium dalam urin dimana thorium masih perlu diteliti lebih lanjut karena senyawa thorium digunakan secara meluas dalam industri sebagai bahan andalan karena sifat kimianya [5,6]. Thorium ditemukan sebagai komponen batangan *welding*, kaos lampu, filamen lampu intensitas tinggi, pelapisan optik, dan bahan pembakaran dengan temperatur tinggi. Isotop ini juga merupakan sumber bahan bakar nuklir untuk reaktor pembiak (*breeder*) melalui reaksi  $^{232}\text{Th}(n,\gamma)^{233}\text{Th}$  yang segera meluruh menjadi  $^{233}\text{Pa}$ , kemudian  $^{233}\text{U}$  yang dapat membelah [7]. Dengan banyaknya pemanfaatan isotop ini, maka penting untuk mengetahui sifat-sifatnya jika seseorang terkena pajanan akibat bekerja.

#### BAHAN DAN TATA KERJA Reagen

Larutan thorium standard : dibuat larutan Th-232 dengan konsentrasi antara 10,56 mg/ml – 10,56 pikogram/ml dalam  $\text{HNO}_3$  1 N (Merck) dengan cara pengenceran. Larutan pengemban lanthanum : dilarutkan 12,5 g lanthanum nitrat heksahidrat (Merck) dalam 100 ml HCl 1M.

#### Cara kerja

Ke dalam gelas *becker*, dituang masing-masing 30 ml sampel urin yang sama, salah satunya ditambah larutan thorium standard. Masing-masing diproses secara bersamaan sebagai berikut. Ditambahkan 5 ml asam nitrat pekat dan dipanaskan selama 1 jam, setelah dingin ditambahkan bertetes-tetes ammonium hidroksida sampai terjadi endapan dan kemudian dipanaskan kembali selama 1 jam. Setelah dingin, disentrifus, supernatant dibuang dan endapan dicuci dengan 10 ml akuades. Endapan dilarutkan dalam volume minimum asam nitrat pekat, ditambah akuades 10 ml dan diendapkan kembali dengan ammonium hidroksida. Dipanaskan selama 30 menit, disentrifus dan endapan dilarutkan dalam asam nitrat pekat.

Dipersiapkan vial aktivasi kemudian dicuci dan dikeringkan. Larutan di atas dituang ke dalam vial dan volume dibuat 5 ml dengan air bebas ion. Vial ditutup rapat dan ditempatkan dalam *rabbit* (wadah khusus untuk aktivasi) dan kemudian diaktivasi dengan neutron selama 15 menit dengan fluks  $10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ detik}^{-1}$  di *Triga Nuclear Reactor* (90 kV) di Fakultas Teknik, Universitas Utah, Utah, USA. Setelah diiradiasi neutron, larutan dalam vial dituang ke tabung sentrifus, ditambahkan 1 ml larutan lantanum pengemban dan 5 ml NaOH. Ditambahkan secara berlebihan amonium hidroksida dan disentrifus. Endapan dilarutkan dalam asam nitrat pekat (2-5 tetes), ditambah 5 ml NaCl dan dilakukan pengendapan ulang. Endapan yang terbentuk dilarutkan dalam asam nitrat dan dituang ke dalam botol pencacahan dan volume dibuat 5 ml dengan air bebas ion. Dilakukan pencacahan selama 3 menit dengan detektor NaI(Tl) dan dicatat waktu antara radiasi dan pencacahan. Aktivitas Th-233 ditentukan dan dikoreksi dengan cacah latar.

Konsentrasi Th-232 dalam sampel dihitung dengan rumus  $S = R.K/(1-R)$  dimana S adalah konsentrasi thorium dalam sampel tanpa standard, K adalah konsentrasi thorium dalam

sampel standard dan R adalah perbandingan aktivitas antara sampel dengan dan tanpa standard. Sebagai alternatif lain, dapat digunakan metoda *stripping* spektrum puncak. Setelah masing-masing sampel dicacah, area spektrum sampel tanpa standard dan sampel ditambah standard dicatat. Kemudian area puncak thorium dikurangi atau di-strip dengan yang lain sehingga hanya Compton continuum yang tertinggal pada area puncak thorium. Faktor *stripping* (diperlukan strip fraksional) adalah perbandingan antara cacah sampel satu dengan sampel lain. Perbandingan ini dikoreksi dengan waktu peluruhan antara dua pencacahan. Perbandingan terkoreksi (R) kemudian dipergunakan langsung dalam perhitungan konsentrasi thorium. Metoda ini lebih cepat dan tepat daripada metoda di atas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah semua sampel ditentukan dan prosedur percobaan dioptimalkan, keakuratan metoda yang dikembangkan telah

dievaluasi/diterapkan pada empat sampel urin. Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi Th-232 dalam urin dari empat sampel yang dianalisis berturut-turut adalah tidak terdeteksi (TTD), 200,40; 273,88; dan 22,03 pg/l. Dengan prosedur yang sederhana, analisis aktivasi neutron dapat digunakan untuk mengetahui kandungan aktinida dalam beberapa jenis sampel biologik. Namun dalam penelitian awal ini hanya empat sampel yang dianalisis yang jumlahnya sangat jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah pekerja radiasi di industri pengguna radioisotop yang perlu dipantau. Sejumlah metoda radiometrik dan non-radiometrik telah digunakan untuk menentukan Th-232 dalam sampel biologi dan lingkungan. Metoda tersebut meliputi spektrometri alfa, spektrometri sinar gamma, analisis aktivasi neutron, analisis aktivasi neutron radiokimia (seperti yang dilakukan dalam penelitian ini), analisis aktivasi neutron pra-konsentrasi, spektrometri absorpsi, dan *inductively coupled plasma mass spectrometry* (ICP-MS) dengan masing-masing keunggulannya.

Tabel 2. Sifat peluruhan berbagai produk aktivasi urine

Isotop mula-mula	Isotop Hasil aktivasi	Waktu paro	Energi gamma (KeV) (kelimpahan)
Th-232	Th-233	23 menit	86,9 (2,7%), meluruh menjadi Pa-233 313 (80%)
Na-23	Pa-233	27 hari	1.368 (100%); 2.754 (100%)
Cl-37	Na-24	15 jam	1.150 (47%); 1.600 (31%)
Fe-58	Cl-38	37 menit	1.098 (57%); 1289 (43%)
Mn-55	Fe-59	45 hari	845 (50%); 1.810 (30%); 2.130 (20%)
	Mn-56	2,6 jam	

Dalam aktivasi, penembakan dengan neutron terhadap Th-232 akan menghasilkan isotop Th-233, suatu isotop pengemisi beta dan gamma dengan waktu paro 23,3 menit. Th-233 meluruh menjadi Pa-233, suatu pengemisi beta-gamma dengan waktu paro 27,4 hari. Dengan menggunakan standard yang sesuai, aktivitas gamma dari masing-masing nuklida dapat dipergunakan untuk menghitung konsentrasi Th-232. Aktivitas

gamma dari Pa-233 lebih umum dipergunakan karena waktu paro-nya yang relatif lebih lama sehingga memungkinkan lebih banyak waktu untuk pemisahan kimia untuk menghilangkan interferensi. Jika Pa-233 yang dipilih maka diperlukan waktu untuk peluruhan selama beberapa jam sebelum pencacahan. Tentunya waktu ini dapat digunakan untuk pemisahan kimia, akan tetapi diketahui bahwa interferensi dapat dihilangkan dengan teknik yang

sederhana dan cepat segera setelah aktivasi. Namun dalam percobaan ini dipilih Thorium-233 karena aktivitas spesifiknya yang tinggi dan karena analisis dilakukan pada fasilitas yang jauh dari tempat kerja normal. Setelah urin diiradiasi, akan dihasilkan aktivitas yang tinggi dari senyawa/unsur besi, senyawa klorida, khususnya natrium. Sifat peluruhan unsur-unsur hasil aktivasi tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2. Konstituen utama dengan energi gamma yang relatif tinggi menghasilkan spektrum kontinyu Compton yang sangat besar di daerah energi dimana produk thorium (Th-233 dan Pa-233) diukur sehingga memerlukan pemisahan kimia.

Perlakuan sebelum iradiasi adalah untuk mengkonsentrasikan thorium dalam volume yang kecil dan menurunkan kandungan natrium dan klorida. Kurang lebih 99,9% natrium yang mula-mula ada dapat dihilangkan dengan pemisahan tersebut. Akan tetapi, pemisahan setelah aktivasi dengan pengendapan hidroksida dan pengembalian natrium klorida diperlukan untuk mempertinggi resolusi puncak spektrum thorium. Keakuratan dan sensitivitas metoda penentuan dengan thorium standard (*tracer*) juga tinggi. Bagian sampel yang ditambah standard merupakan pemonitor yang sangat baik karena mempunyai karakteristik yang sama dengan sampel yang dianalisis. Ini sangat penting karena komposisi urin sangat bervariasi dari satu sampel ke sampel lain. Dengan menganggap parameternya sama selama perlakuan secara simultan terhadap dua sampel, teknik ini akan mengoreksi kurang lengkapnya pemisahan thorium. Efisiensi pencacahan juga dapat diperbaiki sehingga tidak diperlukan kalibrasi yang mutlak. Untuk keakuratan yang tinggi, teknik ini memerlukan konsentrasi thorium standard yang sangat mendekati sampel, dan hal ini dapat dilihat dari perhitungan. Karena dengan teknik ini konsentrasi thorium dalam urin tidak dapat diketahui sebelumnya, maka sampel

urin dapat digunakan untuk memperkirakan konsentrasi sampel dengan standard.

Metoda yang dikembangkan dalam makalah ini mempunyai sensitivitas yang cukup tinggi. Hal ini dapat dipergunakan untuk sampel dengan konsentrasi Th-232 serendah  $10^{-9}$  g/l. Sensitivitas ini memungkinkan pengukuran konsentrasi thorium dalam urin seseorang yang tidak terkena paparan atau kontaminasi akibat bekerja dengan Th-232, akan tetapi tingkat ini hanya bersifat tentatif karena sedikitnya jumlah sampel yang diuji. Ketepatan yang diperoleh (standard deviasi lebih baik daripada 10%) adalah sangat baik untuk berbagai sampel dengan konsentrasi thorium yang sangat rendah.

Dalam dunia industri atau di laboratorium, penanganan bahan yang mengandung thorium dapat menyebabkan pajanan dari Th-232, Th-230 dan anak luruh radioaktifnya. Dari sejumlah isotop tersebut, hanya tiga isotop yakni Th-232, Th-230 dan Th-228 yang relevan secara radiologik, sedangkan produk-produk luruhan lainnya tidak memiliki kontribusi yang nyata dalam menyebabkan dosis pajanan. Dalam menganalisa bahan yang mengandung thorium juga harus selalu diingat adanya "vektor nuklida" atau dengan kata lain rasio antara ketiga nuklida yang menarik tersebut. Dengan asumsi bahwa rasio ini juga dapat ditemukan di dalam debu di udara maka akhirnya hanya aktivitas Th-232 yang perlu ditentukan dalam sampel<sup>[8-10]</sup>.

Penelitian ini identik dengan penelitian yang dilakukan oleh Glover dkk [1] yang menganalisis thorium dalam urin yang mula-mula diperkaya dengan Th-229 dan thorium diisolasi dari sample menggunakan ko-presipitasi unsur alkali tanah dan penukar anion. Metoda preparasinya cukup berbeda yakni sampel dilekatkan (*mounted*) dengan elektrodeposisi dari media sulfat pada suatu planset (vanadium kemurnian tinggi), dicacah dengan spektrometri alfa untuk menentukan Th-228, Th-229 dan Th-230, dan kemudian

dianalisa dengan analisis aktivasi neutron untuk Th-232 menggunakan fluks neutron  $6,5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ det}^{-1}$  selama 6 jam. Pa-233 yang terbentuk ditentukan dengan mengukur sinar gamma pada energi 312 keV dengan spektrometer gamma dan Th-232 dihitung dengan membandingkan standard yang diaktivasi pada waktu bersamaan dengan jumlah Th-232 yang telah diketahui dengan batas deteksi kurang lebih 1 mBq Th-232. Hasil radiokimia ditentukan dari metoda spektrometri alfa. Batas deteksi dapat diturunkan hingga kurang lebih  $10^{-7}$  Bq dengan isolasi secara radiokimia Pa-233 (koreksi *recovery* menggunakan Pa-231 dan spektrometri alfa), mengelektrodeposisi sample dan kemudian menentukan aktivitas dengan spektrometri gamma. Dalam penelitian ini, perlakuan radiokimia sebelum dan sesudah aktivasi neutron adalah untuk memperkecil interferensi Compton dari Na-24 dan Cl-38, serta aktivitas thorium-233 dicacah sesegera mungkin setelah diaktivasi.

## SIMPULAN

Penentuan konsentrasi sangat rendah thorium dalam urin dengan metoda yang cepat dan sensitif telah disajikan dalam penelitian ini. Teknik ini memungkinkan kuantifikasi thorium dalam urin dan sample bioassay lainnya hingga ke tingkat yang sesuai untuk maksud proteksi radiasi. Sensitivitas metoda adalah sebesar  $10^{-10}$  g Th/liter dan relatif hanya membutuhkan waktu yang pendek untuk pemrosesan sampel. Konsentrasi Th-232 dalam empat sampel yang dianalisis dalam penelitian ini masing-masing adalah tidak terdeteksi (TTD), 200,40; 273,88; dan 22,03 pg/l. Dengan prosedur yang sederhana, analisis aktivasi neutron dapat digunakan untuk mengetahui kandungan aktinida dalam beberapa jenis sampel biologik.

## DAFTAR PUSTAKA

1. GLOVER, S.E.: *Application of Combined Alpha Spectrometry and Neutron Activation analysis for The Determination of Isotopic Thorium in Urine*, Department of Chemistry, Washington State University, Pullman WA., 1998.
2. SCHRAMMEL, P., WENDLER, I., ROTH, P., and WERNER, E.: Method For The Determination of Thorium and Uranium in Urine by ICP-MS, *Mikrochimica acta*, 126, 263-266, 1997.
3. HURTGEN, C.: *Natural radioactivity in bioassay by alpha-spectrometry measurements*, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 248 (2), 477-482, 2001.
4. IAEA-Tecdoc 1215.: *Use of Research Reactor for Neutron Activation Analysis*, IAEA, Vienna, 2001.
5. LAMONT, S.P., FILBY, R.H. and GLOVER, S.E.: *In Vitro Dissolution Characteristics of Aged and Recrystallized High-Fired  $^{232}\text{ThO}_2$* , Radiation Protection Dosimetry, 97, 161-168, 2001.
6. CLARKE, W.J. and BAIR, W.J., Plutonium inhalation studies-VI: pathologic effects of inhaled plutonium particles in dogs, *Health Physics*, 10, 861, 1965.
7. BOECKER, B.B., THOMAS, R.G., AND SCOTZ, J.K.: *Thorium Distribution and Excretion Studies II. General Pattern Following inhalation and the effect of the size of the inhaled dose*, Health Physics, 9, 165-176, 1963.
8. HÖTZL, H., RIEDMANN, W., WEINMÜLLER, K., and WINKLER, R.: *Comparison of Direct Alpha Spectrometry and Neutron Activation Analysis of Aerosol Filters for Determination of Workplace Thorium Air Concentrations*, Health Phys., 70, 651-655; 1996.
9. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION.: *Human Respiratory Tract Model for Radiological*

*Protection*, Oxford: Pergamon Press, ICRP Publication 66, *Ann. ICRP* 24(1-3), 1994.

10. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION.: *Age-Dependent Doses of the Public From Intake of Radionuclides*, Part 3, Ingestion dose coefficients, Oxford, Pergamon Press, ICRP Publication 69, *Ann. ICRP* 25(1), 1995.