

## PENENTUAN AKTIVITAS UNSUR RADIOAKTIF THORIUM YANG TERKANDUNG DALAM PROTOTYPE SUMBER RADIASI KAOS LAMPU PETROMAKS

A. Nugraheni<sup>1</sup>, P. Dwijananti<sup>2✉</sup>, Sayono<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

<sup>3</sup>PPNY BATAN Yogyakarta, Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta 55281 Indonesia

### Info Artikel

#### Sejarah Artikel:

Diterima 20 Desember 2011  
Disetujui 1 Februari 2012  
Dipublikasikan April 2012

#### Keywords:

Thorium  
Petromax Light Mantle  
Prototype  
Gamma Spectrometry

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah menentukan jenis unsur radioaktif thorium yang terkandung dalam prototipe kaos lampu petromaks, mengetahui aktivitas jenis dan umur paruh unsur radioaktif thorium tersebut. Analisis data menggunakan metode spektrometri gamma dengan detektor Ge(Li). Data pencacahan berupa spektrum energi gamma, yang memberikan informasi energi gamma dan cacahnya. Jenis unsur radioaktif dan umur paruhnya diketahui dengan mencocokkan energi gamma pada tabel isotop. Sedangkan aktivitas jenisnya ditentukan dengan menganalisis spektrum energi gamma. Berdasarkan hasil penelitian, prototipe kaos lampu petromaks mengandung unsur radioaktif <sup>212</sup>Pb (thorium B), <sup>224</sup>Ra (thorium X), <sup>228</sup>Ac (Mesothorium II), <sup>208</sup>Tl (thorium C'), <sup>212</sup>Bi (thorium C) dan <sup>40</sup>K (kalium-40). Aktivitas jenis unsur <sup>212</sup>Pb ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dalam satuan Bq/gram pada prototipe berturut-turut A ( $2,301 \pm 0,001$ ) $10^3$ , B ( $1,351 \pm 0,007$ ) $10^3$ , C ( $1,068 \pm 0,003$ ) $10^3$ , D ( $6,343 \pm 0,005$ ) $10^2$ , dan E ( $6,637 \pm 0,009$ ) $10^2$ . Sedangkan aktivitas jenis unsur <sup>40</sup>K ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) dalam satuan Bq/gram pada prototipe berturut-turut A ( $1,29 \pm 0,01$ ) $10^1$ , B ( $1,818 \pm 0,007$ ) $10^2$ , C ( $1,362 \pm 0,003$ ) $10^2$ , D ( $7,85 \pm 0,02$ ) $10^1$  dan E ( $7,93 \pm 0,01$ ) $10^1$ . Hal ini terbukti dengan teridentifikasinya unsur-unsur radioaktif anak luruh deret thorium. Aktivitas prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks sebagian besar berasal dari sumbangan aktivitas unsur radioaktif <sup>212</sup>Pb ( $E_\gamma = 238,90$  keV). Aktivitas prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks yang terbesar terdapat pada prototipe B.

### Abstract

The purpose of this research is to determine type of radioactive element thorium contained in petromax light mantle prototype and find out the specific activity and half life of radioactive element thorium. The data was analyzed by using gamma spectrometry method with Ge(Li) detector. The data enumeration is the spectrum of gamma energy which gives information of gamma energy and its enumeration. Radioactive element type and its half life were recognized by matching the gamma energy in the isotope table. While its specific activity was defined by analyzing the gamma energy spectrum. So, it can be concluded that the petromax light mantle contained radioactive element <sup>212</sup>Pb (thorium B), <sup>224</sup>Ra (thorium X), <sup>228</sup>Ac (Mesothorium II), <sup>208</sup>Tl (thorium C'), <sup>212</sup>Bi (thorium C) dan <sup>40</sup>K (kalium-40). The activity element of <sup>212</sup>Pb ( $E_\gamma = 238,90$  keV) in the quantity Bq/gram has prototype A ( $2,301 \pm 0,001$ ) $10^3$ , B ( $1,351 \pm 0,007$ ) $10^3$ , C ( $1,068 \pm 0,003$ ) $10^3$ , D ( $6,343 \pm 0,005$ ) $10^2$ , dan E ( $6,637 \pm 0,009$ ) $10^2$ . While the activity element of <sup>40</sup>K ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) in the quantity Bq/gram has prototype A ( $1,29 \pm 0,01$ ) $10^1$ , B ( $1,818 \pm 0,007$ ) $10^2$ , C ( $1,362 \pm 0,003$ ) $10^2$ , D ( $7,85 \pm 0,02$ ) $10^1$  and E ( $7,93 \pm 0,01$ ) $10^1$ , it was proved by identification of radioactive elements thorium subseries. The activity of radiation source of petromax light mantle prototype mostly came from the radioactive element activity of <sup>212</sup>Pb ( $E_\gamma = 238,90$  keV), and the biggest activity came from prototipe B.

© 2012 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:  
Gedung D7 Lantai 2 FMIPA Unnes  
Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229  
E-mail: p\_dwijananti@yahoo.com

**Pendahuluan**

Kemajuan IPTEK mendorong pemanfaatan zat-zat radioaktif di berbagai bidang, misalnya industri kaos lampu petromaks. Kaos lampu petromaks mengandung sedikit thorium dan menunjukkan gejala radioaktivitas yang sangat lemah (Klinken. 1991). Pendapat di atas didukung oleh hasil penelitian Dwijananti & Yulianti (1993) bahwa aktivitas berbagai merk kaos lampu petromaks dalam bentuk bahan lebih besar daripada dalam bentuk abu dan pada waktu menyala, yaitu: keadaan bahan 69 cpm sampai dengan 143 cpm, dalam bentuk abu 17 cpm sampai dengan 42 cpm dan keadaan nyala 5 cpm sampai dengan 13 cpm (Dwijananti *et al.* 2003). Tim Riset Grant Due Like 2004 yang dilaksanakan oleh Yulianti pada tahun 2004, telah berhasil membuat prototipe sumber radiasi berbahan kaos lampu petromaks, abu kaos lampu petromaks dan campuran kaos lampu petromaks dan abunya. Ketiga jenis prototipe tersebut ternyata setelah diuji dengan XRD dan EDS mengandung unsur thorium dalam senyawa *thorium dioxide* (ThO<sub>2</sub>) dan *calcium thorium fluoride*.

Oleh karena itu muncul permasalahan "Jenis unsur radioaktif thorium apakah yang terkandung dalam prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks dan berapakah besarnya aktivitas jenis unsur radioaktif thorium tersebut?". Tujuan penelitian ini adalah menentukan jenis unsur radioaktif thorium yang terkandung

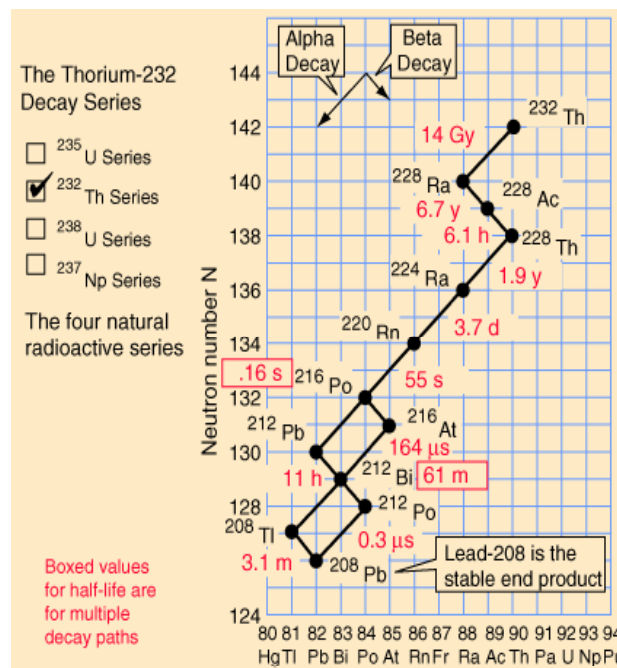
dalam prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks, mengetahui aktivitas jenis dan umur paruh unsur radioaktif thorium tersebut dengan menggunakan metode spektrometri gamma.

Peristiwa peluruhan (disintegrasi) secara spontan inti atom tidak stabil menjadi inti atom stabil disebut sebagai proses *radioaktivitas* (Suratman. 1996). Sedangkan menurut Susetyo (1988), radioaktivitas adalah proses perubahan keadaan inti atom secara spontan yang disertai radiasi berupa zarah atau gelombang elektromagnetik.

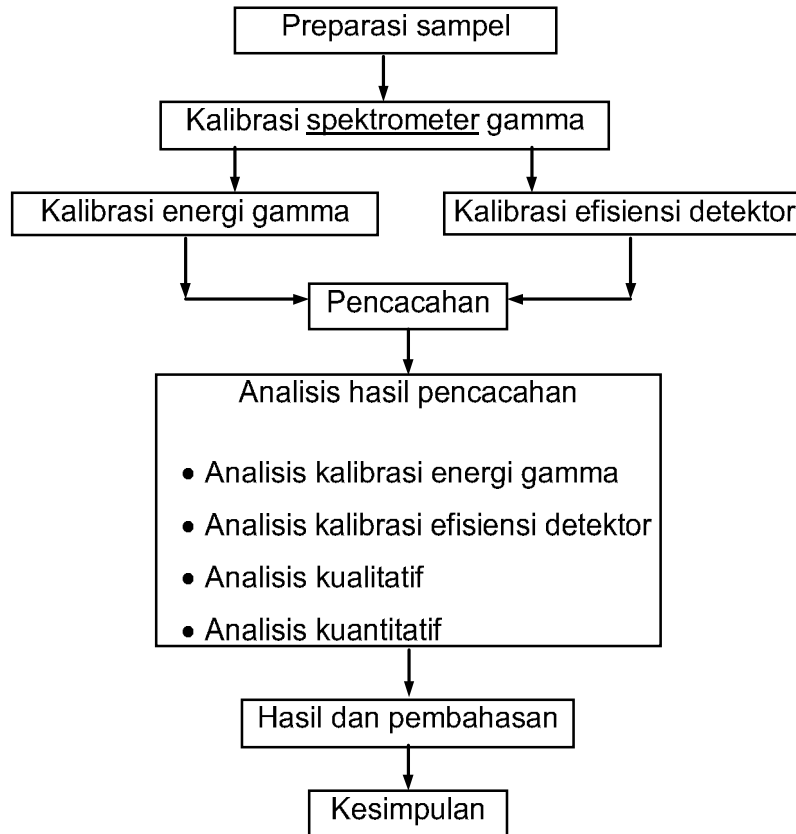
Kebanyakan unsur radioaktif yang didapatkan di alam merupakan anggota dari empat deret radioaktif. Keempat deret radioaktif ini, yang tiga terjadi secara alamiah yaitu deret thorium, deret uranium dan deret aktinium. Sedangkan deret neptunium merupakan hasil buatan manusia dengan cara menembaki inti berat dengan neutron (Beiser, 1999).

Thorium ditemukan pada tahun 1828 oleh Jons Jakob Berzelius. Thorium terdapat pada batuan, tanah, air, tumbuhan dan hewan. Thorium ditemukan di alam sebagai mineral *monazite* (Ce,La,Y,Th)PO<sub>4</sub>, *thorite* (ThSiO<sub>4</sub>) dan *thorianite* (Th,U)O<sub>2</sub>. Thorium murni berupa logam putih keperakan. Karakteristik thorium yang lainnya adalah: Fase padat, kerapatan = 11,7 g.cm<sup>-3</sup>, titik lebur = 2115 K (1842 °C, 3348 °F), titik didih = 5061 K (4788 °C, 8650 °F), struktur Kristal kubus pusat sisi. Proses disintegrasi deret thorium ditunjukkan pada Gambar 1.

Kaos lampu petromaks adalah salah satu



**Gambar 1.** Skema peluruhan dari thorium (Beiser, 1999)



**Gambar 2.** Skema prosedur penelitian

penemuan Auer Van Welsbach. Kaos lampu petromaks merupakan kaos kecil yang terbuat dari jaring jala/tenunan kain halus (nilon) atau asbes yang digunakan sebagai alat yang menghasilkan cahaya ketika dipanaskan.

Spektrometri gamma adalah suatu cara pengukuran dan identifikasi zat-zat radioaktif dengan cara mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi sinar gamma yang dipancarkan oleh zat-zat radioaktif tersebut dengan materi detektor (Susetyo, 1988).

Suatu berkas sinar gamma yang berinteraksi dengan detektor akan mengalami tiga proses utama, yaitu: efek fotolistrik, hamburan Compton dan pembentukan pasangan.

**Metode**

Alat penelitian yang digunakan adalah timbangan digital dan seperangkat spektrometer gamma. Seperangkat spektrometer gamma terdiri dari HV (*High Voltage*), detektor Ge(Li), *Cryostat*, *Preamplifier*, *Amplifier*, MCA (*Multi Channel Analyzer*), unit pengolahan data.

Sedangkan bahan-bahan yang diperlukan adalah prototipe sumber radiasi berbahan kaos

lampu petromaks, prototipe berbahan abu kaos lampu petromaks, prototipe berbahan campuran antara kaos lampu petromaks dengan abu kaos lampu petromaks, sumber standar <sup>152</sup>Eu dan nitrogen cair.

Analisis data kalibrasi energi gamma . Membuat grafik kalibrasi energi gamma yaitu grafik energi sinar gamma versus nomor salur (menggunakan sumber standar <sup>152</sup>Eu).

Menentukan persamaan garis linier grafik dengan metode regresi linier.

Analisis data kalibrasi efisiensi detektor Menghitung aktivitas <sup>152</sup>Eu pada saat pengukuran

$$A(dps) = A_0 \exp \frac{-0,693t}{T_{1/2}} \tag{1}$$

Menghitung efisiensi masing-masing energi gamma dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{dps.Y(E)} \tag{2}$$

Membuat grafik kalibrasi efisiensi detektor yaitu grafik efisiensi versus energi sinar gamma.

Menentukan persamaan garis linier grafik dengan metode regresi linier.

Analisis kualitatif dilakukan untuk mengetahui jenis unsur yang terkandung dalam prototipe kaos lampu petromaks, dengan langkah-langkah analisis kualitatif sebagai berikut (Nasirin *et al.* 2007):

Menentukan energi tiap puncak spektrum gamma. Menyesuaikan energi gamma dari puncak spektrum dengan energi berbagai radionuklida yang tercantum dalam tabel isotop, sehingga dapat ditentukan unsur apa saja yang terdapat dalam tiap prototipe.

Analisis kuantitatif pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas unsur radioaktif thorium yang terkandung dalam prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks. Langkah-langkah analisis kuantitatif adalah:

Menghitung efisiensi  $\varepsilon(E)$  dengan menggunakan persamaan garis kalibrasi efisiensi:  $Y = \alpha X + b$  dengan  $Y = \ln \varepsilon(E)$  dan  $X = \ln E$  (3)

Menghitung aktivitas:

$$Aktivitas(dps) = \frac{cps}{Y(E) \varepsilon(E)} \quad (4)$$

Menentukan umur paruh dengan mencocokkan energi unsur pada tabel isotop.

## Hasil dan Pembahasan

Kalibrasi Energi Gamma Dan Kalibrasi Efisiensi Detektor ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil Pencacahan Prototipe Sumber Radiasi Kaos Lampu Petromaks dapat dilihat pada Tabel 2 dan tabel 3.

Hasil analisis kalibrasi energi gamma berupa persamaan garis kalibrasi energi gamma  $Y = 0,5026X - 0,5562$  dengan koefisien regresi ( $R^2$ ) = 0,9999. Nilai koefisien regresi ( $R^2$ ) mendekati 1, ini berarti perangkat spektrometer gamma masih dalam kondisi baik. Sedangkan hasil analisis kalibrasi efisiensi detektor berupa persamaan garis kalibrasi efisiensi detektor  $Y = -1,0982X + 2,7031$  dengan koefisien regresi ( $R^2$ ) = 0,9975. Nilai koefisien regresi ( $R^2$ ) mendekati 1, ini berarti efisiensi detektor masih optimum sehingga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif (Anthony *et al.* 1992)

Unsur-unsur radioaktif yang teridentifikasi pada prototipe kaos lampu petromaks adalah:  $^{212}\text{Pb}$  (thorium B),  $^{224}\text{Ra}$  (thorium X),  $^{228}\text{Ac}$  (Mesothorium II),  $^{208}\text{Tl}$  (thorium C'),  $^{212}\text{Bi}$  (thorium C), dan  $^{40}\text{K}$  (lihat Tabel 6). Semua unsur radioaktif yang teridentifikasi, kecuali  $^{40}\text{K}$  merupakan anak luruh dari deret thorium.

Berdasarkan teridentifikasinya unsur-

unsur radioaktif anak luruh deret thorium, dapat disimpulkan bahwa prototipe kaos lampu petromaks mengandung unsur radioaktif  $^{232}\text{Th}$  dengan umur paruh  $1,4 \times 10^{10}$  tahun. Hal ini sesuai dengan pendapat Klinken (1991) bahwa kaos lampu petromaks mengandung sedikit thorium dan menunjukkan gejala radioaktivitas yang sangat lemah. Unsur radioaktif thorium tersebut berasal dari proses pengecelupan kaos lampu ke dalam larutan thorium nitrat, dengan aktivitas thorium sebesar  $\pm 2,35$  mCi (Suratman. 1996). Dan juga berasal dari bahan kaos lampu petromaks itu sendiri yaitu asbes yang mengandung  $^{232}\text{Th}$  (Jelena *et al.* 2012). Hal ini juga didukung penelitian Dwijananti *et al* (2009) yang menunjukkan bahwa abu kaos lampu petromaks dapat menghitamkan pelat film.

Unsur radioaktif  $^{232}\text{Th}$  dan beberapa unsur radioaktif deret thorium tidak teridentifikasi. Beberapa kemungkinan penyebabnya antara lain:

Unsur radioaktif  $^{232}\text{Th}$  dan beberapa unsur radioaktif anak luruh deret thorium mempunyai umur paruh panjang tetapi aktivitasnya sangat kecil, sehingga unsur-unsur radioaktif tersebut tidak teridentifikasi.

Aktivitas beberapa unsur radioaktif anak luruh deret thorium besar tetapi umur paruhnya pendek, sehingga saat pencacahan kemungkinan unsur radioaktif tersebut sudah habis.

Kontribusi unsur radioaktif  $^{40}\text{K}$  dalam kaos lampu berasal dari bahan kaos lampu petromaks, yaitu tenunan kain halus (nilon) atau asbes. Nilon merupakan serat sintetik yang dibuat seluruhnya dari bahan anorganik: batu bara, air dan udara. Sedangkan bahan dasar pembuatan asbes merupakan bahan tambang yang mengandung unsur-unsur radioaktif alamiah berumur paro panjang, yaitu  $^{232}\text{Th}$  dan  $^{40}\text{K}$ .

Analisis kuantitatif yang dilakukan adalah menentukan aktivitas jenis unsur radioaktif  $^{212}\text{Pb}$  (thorium B) dengan  $E_\gamma = 238,90$  keV dan aktivitas jenis unsur radioaktif  $^{40}\text{K}$ . Prototipe A mengandung unsur  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dan unsur  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) dengan aktivitas jenis terkecil. Sedangkan prototipe B mengandung unsur  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dan unsur  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) dengan aktivitas jenis terbesar. Hal ini disebabkan karena kaos lampu petromaks yang diperlukan untuk membuat prototipe abu lebih banyak.

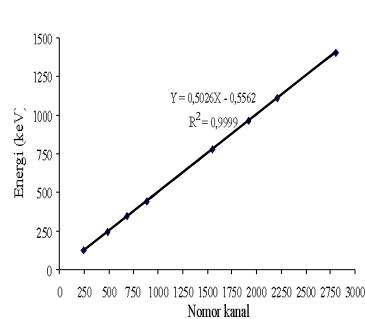
Pencampuran kaos lampu petromaks dan abunya pada prototipe C, D dan E mengakibatkan penurunan aktivitas jenis unsur  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dan unsur  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV). Teknik

**Tabel 1.** Spesifikasi alat dan pencacahan kalibrasi energi gamma dan kalibrasi efisiensi detektor menggunakan sumber standar <sup>152</sup>Eu

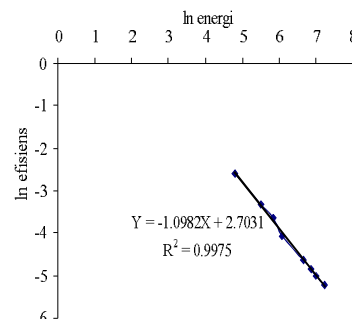
No.	Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
1	Kondisi operasi alat		
	a. Tegangan operasi (HV)	2000	kV
	b. <i>Coarse gain</i>	30	
	c. <i>Fine gain</i>	0,37	
	d. <i>Shaping time</i>	1	µSec
2	Sumber standar <sup>152</sup> Eu		
	a. Waktu paruh	13,1	Tahun
	b. Aktivitas awal (A <sub>0</sub> ) 15 - 6 -1979	1,975 x 10 <sup>5</sup>	Dps
	c. Aktivitas saat pencacahan (A <sub>t</sub> )	43408,7365	Dps
3	Jarak detektor-sumber	0	Cm
4	Lama pencacahan	300	Sekon

Hasil kalibrasi energi gamma dan kalibrasi efisiensi detektor

No.	Nomor kanal	Energi (keV)	cps	Yield*	E	ln energi	ln ε
1	244	121,78	945,8767	0,2820	0,0753	4,8022	-2,5866
2	488	244,69	120,2600	0,0738	0,0366	5,5000	-3,3085
3	686	344,28	308,8467	0,2640	0,0263	5,8415	-3,6399
4	884	443,98	23,4067	0,0308	0,0171	6,0958	-4,0713
5	1550	778,90	55,9100	0,1300	0,0097	6,6579	-4,6406
6	1919	963,43	51,1167	0,1448	0,0079	6,8705	-4,8380
7	2213	1112,08	39,7267	0,1335	0,0067	7,0140	-5,0089
8	2803	1408,03	49,5900	0,2070	0,0054	7,2499	-5,2257



(a)



(b)

**Gambar 3.** (a) Grafik kalibrasi energi gamma (Persamaan garis kalibrasi energi gamma:  $y = 0,5026x - 0,5562$ ,  $R^2 = 0,9999$ ) dan (b) Grafik kalibrasi efisiensi detektor (Persamaan garis kalibrasi efisiensi detektor:  $y = -1,0982x + 2,7031$ ,  $R^2 = 0,9975$ )

## Hasil analisis kualitatif

**Tabel 2.** Unsur radioaktif yang teridentifikasi pada setiap prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks

No.	Unsur radioaktif	Nama populer unsur	Umur paruh
1	$^{212}\text{Pb}$	thorium B	10,6 hari
2	$^{224}\text{Ra}$	thorium X	3,64 hari
3	$^{228}\text{Ac}$	mesothorium II	6,13 hari
4	$^{208}\text{Tl}$	thorium C''	3,10 menit
5	$^{212}\text{Bi}$	thorium C	60,5 menit
6	$^{40}\text{K}$		$1,28 \times 10^9$ tahun

## Hasil analisis kuantitatif

**Tabel 3.** Aktivitas Jenis  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dan  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) yang terkandung dalam prototipe kaos lampu petromaks

No.	Prototipe	massa (gram)	Aktivitas jenis $^{212}\text{Pb}$ (Bq/gram)	Aktivitas jenis $^{40}\text{K}$ (Bq/gram)
1	A	9,585	$(2,301 \pm 0,001)10^2$	$(1,29 \pm 0,01)10^1$
2	B	9,977	$(1,351 \pm 0,007)10^3$	$(1,818 \pm 0,007)10^2$
3	C	9,614	$(1,068 \pm 0,003)10^3$	$(1,363 \pm 0,003)10^2$
4	D	17,387	$(6,343 \pm 0,005)10^2$	$(7,85 \pm 0,02)10^1$
5	E	18,608	$(6,637 \pm 0,009)10^2$	$(7,93 \pm 0,01)10^1$

pembuatan prototipe D dan E melalui pencucian kaos lampu petromaks dengan air aki dan selanjutnya dicuci dengan susu ultra, ternyata tidak meningkatkan aktivitas unsur  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dan unsur  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV). Sehingga secara matematis besarnya aktivitas sebanding dengan massanya ( $A \propto N \propto m$ ) (Beiser A,1999). Selain itu, besarnya aktivitas prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks juga dipengaruhi oleh proses pembuatan prototipe itu sendiri.

Intensitas radiasi sebanding dengan aktivitas sumber radiasi. Unsur radioaktif  $^{212}\text{Pb}$  dengan energi gamma 238,90 keV mempunyai intensitas radiasi tertinggi (Tabel 3), sehingga aktivitas prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks sebagian besar berasal dari unsur radioaktif  $^{212}\text{Pb}$  dengan energi gamma 238,90 keV.

**Simpulan**

Prototipe kaos lampu petromaks

mengandung unsur radioaktif  $^{212}\text{Pb}$  (thorium B),  $^{224}\text{Ra}$  (thorium X),  $^{228}\text{Ac}$  (Mesothorium II),  $^{208}\text{Tl}$  (thorium C''),  $^{212}\text{Bi}$  (thorium C) dan  $^{40}\text{K}$  (kalium-40). Unsur radioaktif yang teridentifikasi pada prototipe kaos lampu petromaks kecuali  $^{40}\text{K}$  adalah anak luruh deret thorium. Sehingga prototipe tersebut mengandung unsur radioaktif  $^{232}\text{Th}$  dengan umur paruh  $1,4 \times 10^{10}$  tahun.

Aktivitas jenis unsur  $^{212}\text{Pb}$  ( $E_\gamma = 238,90$  keV) dalam satuan Bq/gram pada prototipe berturut-turut A  $(2,301 \pm 0,001)10^2$ ; B  $(1,351 \pm 0,007)10^3$ ; C  $(1,068 \pm 0,003)10^3$ ; D  $(6,343 \pm 0,005)10^2$  dan E  $(6,637 \pm 0,009)10^2$ . Sedangkan aktivitas jenis unsur  $^{40}\text{K}$  ( $E_\gamma = 1460,91$  keV) dalam satuan Bq/gram pada prototipe berturut-turut A  $(1,29 \pm 0,01)10^1$ ; B  $(1,818 \pm 0,007)10^2$ ; C  $(1,363 \pm 0,003)10^2$ ; D  $(7,85 \pm 0,02)10^1$  dan E  $(7,93 \pm 0,01)10^1$ . Aktivitas prototipe sumber radiasi kaos lampu petromaks sebagian besar berasal dari unsur radioaktif  $^{212}\text{Pb}$  dengan energi gamma 238,90 keV.

**Daftar Pustaka**

- Anthony S.C., Nicholas S, Belshaw R, Keth O’N. 1992. High Precision Uranium, Thorium and Radium Isotope Ratio Measurements by High Dynamic range Thermal Ionisation Mass Spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes*. 116 (1): 71-78
- Beiser A. 1999. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga
- Dwijananti P & Yulianti D. 1993. *Identifikasi Cacah Radiasi Berbagai Merk Kaos Lampu Petromaks Yang Beredar Di Kodya Semarang*. Lemlit: IKIP Semarang
- Dwijananti P. & Yulianti D. 2003. Aktivitas Radioradionuklida Kaos Lampu Petromaks. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 1 (2): 20-22
- Dwijananti P, Yulianti D, Mashudi A. 2009. Modifikasi Kamera Obscura Sebagai Detektor Radiasi Pengion untuk Alat Pembelajaran Fisika di SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*. 5(2): 124-128
- Jelena M.P., Brit S., Lindis S. 2012. Ecological Transfer of Radionuclides and Metals to Free-living Earthworm Species in Natural Habitats Rich in Norm. *Science of Total Environment*. 414 (1): 167 -176
- Klinken V.G. 1991. *Pengantar Fisika Modern*. Semarang: Penerbit Satya Wacana
- Mohse, N., Bahari I, Abdullah P. & Jaafar A. 2007. Gamma Hazards and Risk Associated with Norm in Sediment From Amang Processing Recycling Ponds. *The Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 11 (1): 314 -328
- Suratman. 1996. *Introduksi Proteksi Radiasi Bagi Siswa/Mahasiswa Praktek*. Yogyakarta: Puslitbang Teknologi Maju BATAN
- Susetyo W. 1988. *Spektrometri Gamma*. Yogyakarta: Gajahmada University Press