

# PENGGUNAAN SINAR-X KARAKTERISTIK U-Ka2 DAN Th-Ka1 PADA ANALISIS KOMPOSISI ISOTOPIK URANIUM SECARA TIDAK MERUSAK

**Yusuf Nampira**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN) - BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15310  
Email: ynampira@gmail.com

(Naskah diterima: 24 September 2012, disetujui: 6 November 2012)

## ABSTRAK

**PENGGUNAAN SINAR-X KARAKTERISTIK U-Ka2 DAN Th-Ka1 DALAM ANALISIS KOMPOSISI ISOTOPIK URANIUM SECARA TIDAK MERUSAK.** Uranium merupakan bahan radioaktif yang meluruh dengan memancarkan radiasi  $\alpha$  dan  $\gamma$ . Peluruhan uranium tersebut diikuti dengan pemancaran sinar-X karakteristik sebagai hasil efek fotolistrik dari interaksi radiasi yang dipancarkan oleh radionuklida hasil proses peluruhan uranium. Intensitas sinar-X karakteristik yang dipancarkan oleh atom-atom uranium dan atom-atom dari hasil peluruhan uranium sesuai dengan kandungan atom tersebut dalam sampel, maka dilakukan pemanfaatan radiasi sinar-X tersebut sebagai indikator analisis isotop uranium. Analisis dilakukan dengan cara tidak merusak, melalui pengamatan pola spektrum pada daerah antara 93 keV sampai 95 keV dan pengukuran intensitas (net area) sinar-X karakteristik yang merupakan puncak spektrum sinar-X dari uranium dan thorium. Berdasarkan pola spektrum tersebut dapat menunjukkan bahwa komposisi isotop  $^{235}\text{U}$  dalam sampel lebih besar atau lebih kecil dari 10 % berat. Kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  ditentukan dengan cara relatif melalui indikator perbandingan intensitas sinar-x karakteristik anak luruh uranium dan uranium. Pengukuran isotop dengan indikator tersebut mempunyai bias pengukuran lebih kecil dari 3% dengan relatif standar deviasi lebih kecil dari 2%.

**Kata kunci:** Sinar-X karakteristik, isotop uranium.

## ABSTRACT

**THE USE OF X-RAY CHARACTERISTICS OF U-Ka2 AND Th-Ka1 IN NON DESTRUCTIVE ANALYSIS OF URANIUM ISOTOPIK COMPOSITION.** Uranium is a radioactive material which decays by emitting radiation of  $\alpha$  and  $\gamma$ . The uranium decay is followed by characteristic X-rays emission as a result of the photoelectric effect. The intensity of characteristic X-rays emitted by uranium atoms and the uranium decay product atoms are used as indicators of uranium isotope composition analysis. The analysis was done undestructively through observation of spectral patterns in the region between 93 keV to 95 keV and intensity measurement (net area) of the characteristic X-rays, i.e. the top X-ray spectrum of uranium and thorium. This spectrum pattern may indicate isotope composition  $^{235}\text{U}$  in a given sample whether it is bigger or smaller than 10 % weight. The isotope composition of  $^{235}\text{U}$  is determined by relative intensity ratio of characteristic X-

*rays from uranium and uranium decay product. In this experiment the measurement of relative intensity has a bias less than 3% .*

**Keywords:** characteristic X-ray, isotope, uranium.

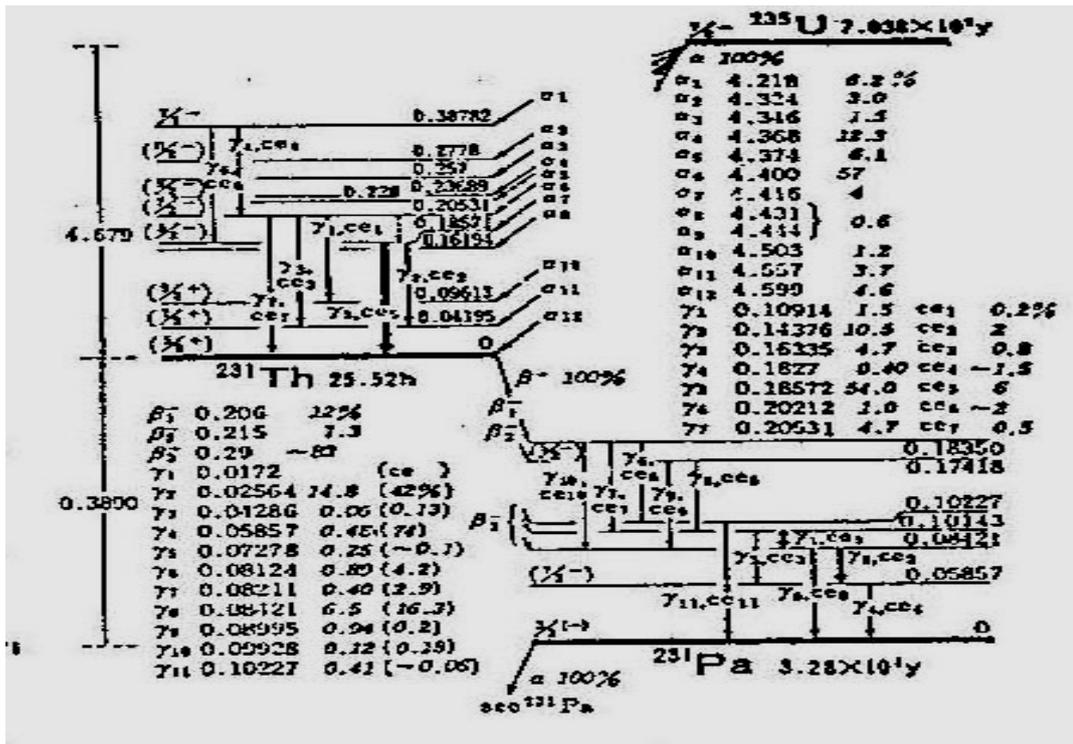
## PENDAHULUAN

Uranium merupakan bahan strategis sehingga sejak penerimaan barang, penyimpanan maupun penggunaan bahan nuklir dalam pengembangan bahan bakar, baik dalam proses pembuatan bahan bakar dan pengujiannya serta limbah yang dihasilkan, diawasi melalui akuntansi bahan nuklir<sup>[1,2]</sup>. Proses penerimaan bahan nuklir didasarkan pada kesesuaian dokumen penawaran dengan dokumen bahan yang dikirim disamping itu perlu dilakukan analisis kesesuaian antara spesifikasi bahan dengan dokumen tersebut. Guna menverifikasi uranium dapat dilakukan dengan beberapa cara analisis, diantaranya dengan cara kimia maupun dengan cara analisis tidak merusak<sup>[3]</sup>. Analisis uranium dapat dilakukan dengan berbagai metode spektrometri diantaranya, spektrometri emisi, spektrometri-alpha, spektrometri massa, dan spektrometri-gamma. Analisis uranium dengan menggunakan spektrometri emisi, sampel disiapkan sesuai dengan metode atomisasi dan eksitasi dari peralatan yang digunakan. Spektrometri massa, sampel disiapkan sesuai dengan metode ionisasi yang digunakan sedangkan pada spektrometri alpha sampel harus disiapkan dengan membentuk suatu lapisan tipis agar radiasi- $\alpha$  dari sampel yang terukur sesuai dengan kandungan uranium dalam sampel. Analisis dengan pendeteksian sinar-gamma, sampel tersebut langsung dilakukan pengukuran radiasi yang dipancarkan oleh bahan radioaktif dalam sampel. Sinar gamma ini dapat menembus wadah bahan nuklir, sehingga dalam melakukan analisis bahan tersebut dapat dilakukan dengan tanpa merusak tempat pembungkusnya.

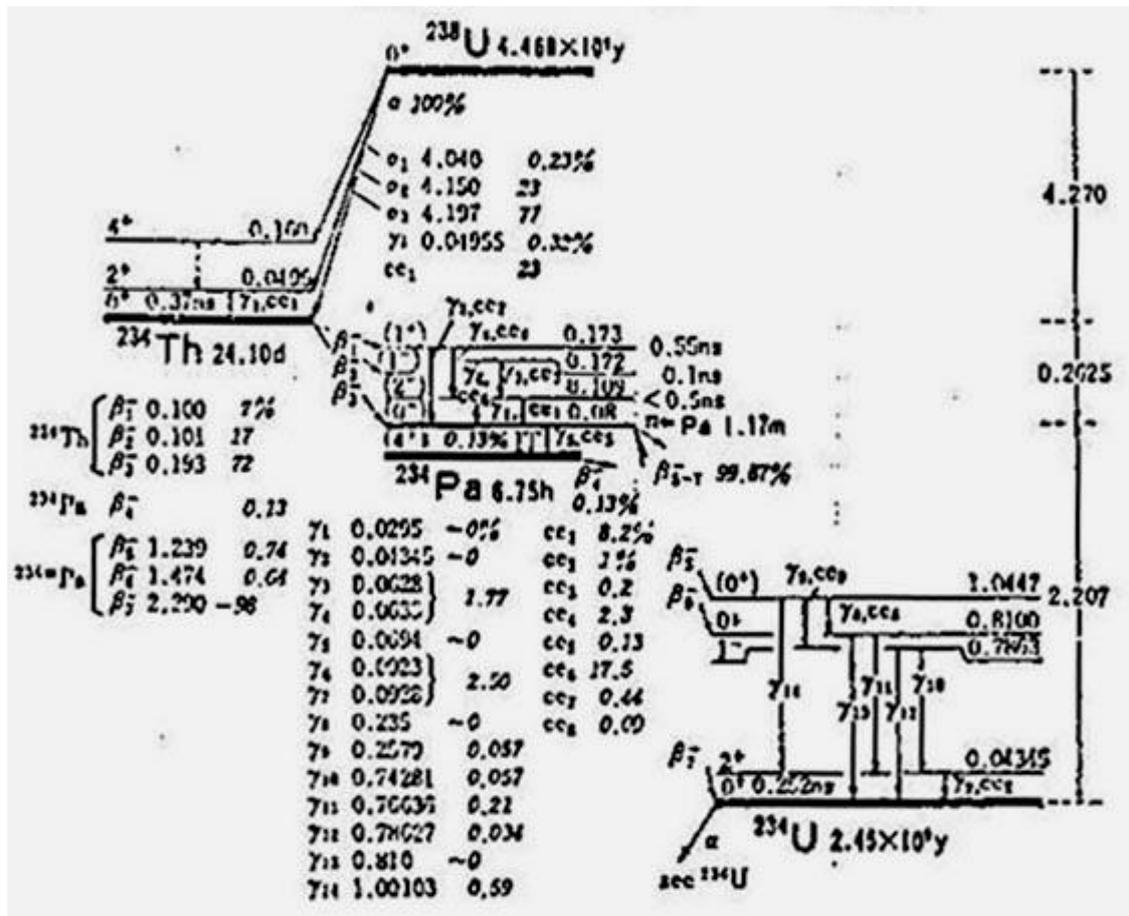
Analisis uranium dengan menggunakan pengukuran sinar gamma memberikan hasil yang teliti akan tetapi metode tersebut mempunyai kelemahan dalam aplikasinya untuk analisis angka banding  $^{235}\text{U}$  terhadap  $^{238}\text{U}$  pada uranium diperkaya lebih dari 50%<sup>[4]</sup>.

Uranium terdiri dari beberapa isotop, diantaranya  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$ . Semua isotop uranium tersebut merupakan radioisotop pemancar radiasi alpha. Isotop  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  disamping memancarkan radiasi alpha juga memancarkan radiasi gamma<sup>[6]</sup>. Peluruhan  $^{235}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$  ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b.

Anak luruh radioisotop uranium sebagian merupakan bahan radioaktif yang memancarkan radiasi- $\beta$ , diantaranya  $^{231}\text{Th}$  anak luruh dari  $^{235}\text{U}$  dan  $^{234}\text{Pa}$  anak luruh  $^{238}\text{U}$ . Radiasi  $\beta$  ini mempunyai spektrum kontinyu hingga mencapai energi maksimum, kedua radionuklida tersebut mempunyai energi  $\beta$  maksimum antara 100 sampai dengan 200 keV. Radiasi  $\beta$  tersebut berupa radiasi  $e^-$  atau  $e^+$ . Gelombang radiasi elektromagnetik ini bila melewati elektron atom uranium maupun elektron atom anak luruh uranium yang mempunyai energi ikat elektron pada orbital kulit dalam (K atau L) lebih kecil dari 200 keV, maka atom-atom tersebut akan mengalami peristiwa efek fotolistrik, yaitu terlemparnya elektron orbital K. Adanya kekosongan elektron ini akan diisi oleh elektron dari orbital di luarnya (terjadi perpindahan elektron dari kulit L atau M yang mengisi kekosongan elektron pada orbital K dan L), perpindahan elektron ini diikuti dengan pelepasan energi yang berupa sinar-x yang mempunyai energi karakteristik untuk setiap atom.



Gambar 1a. Proses peluruhan  $^{235}\text{U}$



Gambar 1b. Proses peluruhan  $^{238}\text{U}$ .

Diantara anak luruh uranium yang mempunyai waktu paruh sangat pendek dibandingkan dengan waktu paruh  $^{235}\text{U}$  ( $T_{1/2}$   $7,038 \times 10^8$  tahun) maupun waktu paruh  $^{238}\text{U}$  ( $4,468 \times 10^9$  tahun) yaitu radionuklida  $^{231}\text{Th}$  ( $T_{1/2}$ : 25,52 jam) dan  $^{234}\text{Pa}$  ( $T_{1/2}$ : 6,75 jam)<sup>[6]</sup>. Kedua radionuklida tersebut memancarkan radiasi- $\beta$  dan radiasi- $\gamma$ , makin tinggi kandungan  $^{235}\text{U}$  dalam suatu bahan akan menyebabkan peningkatan laju pembentukan anak luruh nya (thorium dan proaktinium). Isotop thorium anak luruh  $^{235}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$  mempunyai waktu paro dalam periode waktu hampir sama (satuan jam) sedangkan isotop proaktinium dari kedua isotop uranium tersebut mempunyai waktu paro sangat berbeda ( $T_{1/2}$   $^{231}\text{Th}$ : 25,52 jam dan  $T_{1/2}$   $^{234}\text{Pa}$ : 6,75 jam), sehubungan dengan hal tersebut menyebabkan perbedaan komposisi isotopik uranium akan menyebabkan perbedaan paparan radiasi- $\beta$  dan kandungan unsur-unsur yang ada dalam bahan uranium tersebut. Oleh sebab itu komposisi isotopik uranium ( $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) dapat dianalisis dengan cara mengukur intensitas sinar-X karakteristik uranium dan anak luruh uranium (Th dan Pa).

## TATA KERJA

### Bahan dan alat yang digunakan.

Uranium Oksida ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) standar dari New Brunswick Laboratory digunakan sebagai bahan analisis, Uranium standar yang digunakan adalah CRM U010 (0,9911% berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U015 (1,5132 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U030 (3,0032 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U100 (10,075 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U200 (19,811 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U350 (34,903 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U500 (49,383 % berat  $^{235}\text{U}$ ), CRM U750 (75,129 % berat  $^{235}\text{U}$ ). Pengukuran sinar-x karakteristik dari uranium-K, thorium-K dan proaktinium-K dari sampel dilakukan dengan menggunakan spektrometer dengan detektor Intrinsik Germanium (HpGe).

## Cara kerja

Puncak spektrum gamma yang digunakan sebagai indikator analisis ditentukan dengan mencacah 1 g  $\text{U}_3\text{O}_8$  kandungan 0,9911% berat uranium-235 dalam botol selama 500 detik dengan menggunakan spektrometer dengan detektor *Intrinsik Germanium (HpGe)*.

Waktu pencacahan radiasi terhadap sampel ditentukan dengan melihat kestabilan jumlah cacah per detik dari hasil pencacahan  $\text{U}_3\text{O}_8$  dengan berbagai rentang waktu pencacahan, dimulai dari 100 sampai dengan 500 detik menggunakan spektrometer dengan detektor *Intrinsik Germanium (HpGe)* pada puncak 93,30 keV dan 94,66 keV.

Keberulangan dan keakuratan analisis ditentukan dengan cara menganalisis spektrum yang dihasilkan dari pencacahan standar  $\text{U}_3\text{O}_8$  yang mempunyai berbagai kandungan isotop uranium. Pencacahan sinar-X karakteristik terhadap sampel dilakukan selama 500 detik.

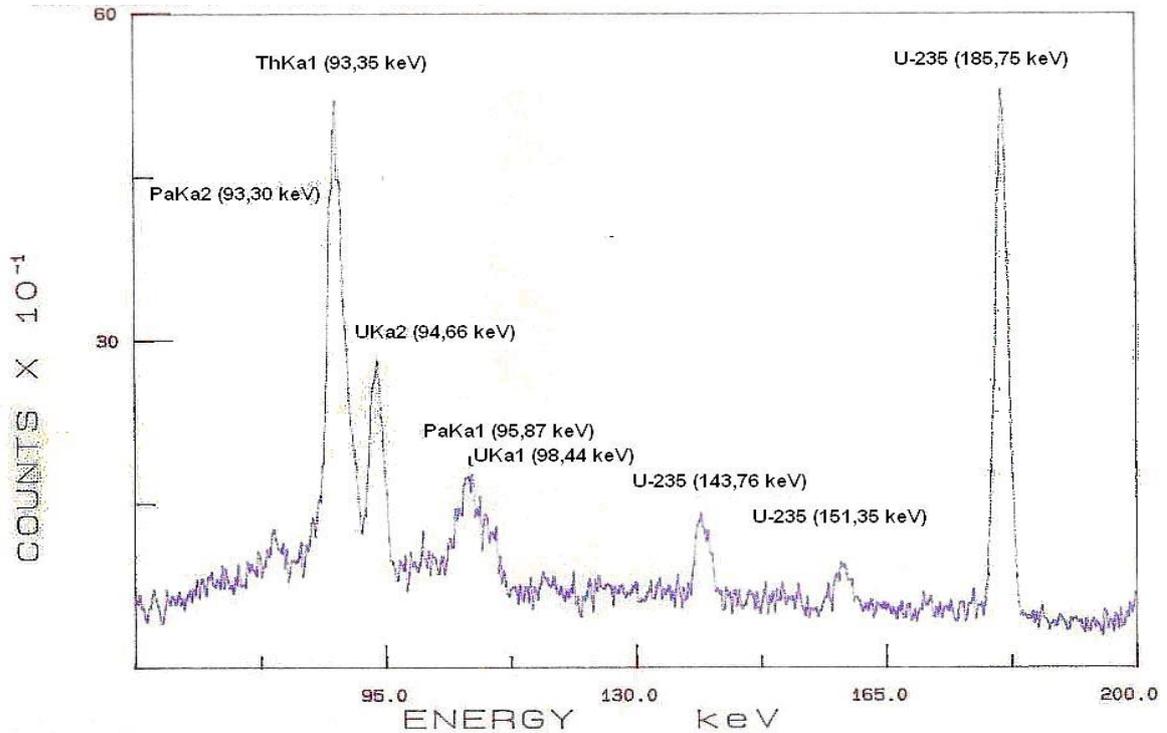
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum hasil dari pendeteksian gelombang elektromagnetik menggunakan detektor *intrinsik germanium* mengidentifikasi puncak-puncak sinar- $\gamma$  dari hasil peluruhan radioisotop uranium dan sinar-X karakteristik dari uranium dan anak luruhnya diantaranya thorium dan proaktinium. Keadaan ini ditunjukkan dalam Gambar 2. Karena analisis ini ditekankan pada pendeteksian sinar-X karakteristik dari spektrum sampel yang dianalisis maka pengamatan dilakukan dalam daerah energi spektrum antara 78 keV sampai dengan 115 keV.

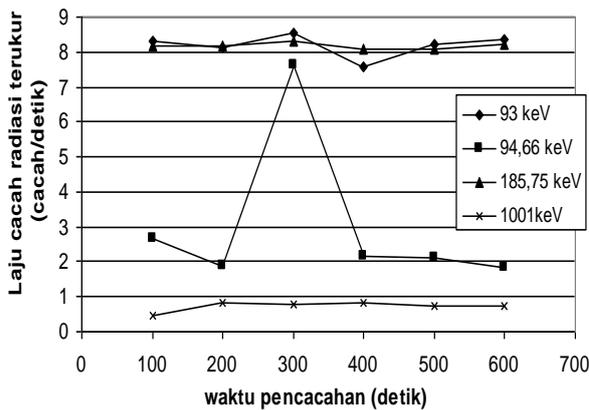
Hasil pengukuran laju cacah pada berbagai waktu dalam Gambar 3, yang menunjukkan bahwa laju cacah radiasi dari radionuklida uranium, anak luruhnya dan sinar-X dari atom di atas mempunyai nilai

tetap untuk atom atau nuklida yang sama bila dilakukan pencacahan lebih dari 500 detik. Hal ini menggambarkan pencacahan sampel uranium dalam waktu pencacahan

tersebut mempunyai *counting loss* kecil. Hal ini ditunjukkan dengan nilai deviasi relatif kecil pada pengukuran dengan waktu pencacahan tersebut (Tabel 1).



Gambar 2. Spektrum sinar-X dan sinar gamma standar  $U_3O_8$



Gambar 3. Laju cacah radiasi gamma  $^{235}U$  (185 keV), sinar gamma  $^{234}Th$  (1001keV), sinar-X Th-Ka1 (93,35keV) dan U-Ka2 (94,66 keV)

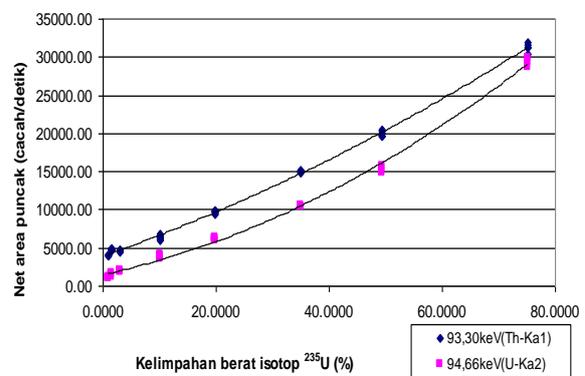
Tabel 1. Puncak spektrum sinar-X uranium dan anak luruh.

Energi puncak (keV)	Transisi elektron atom	Deviasi relative (%)
93,35	Th-Ka1	3,25
94,66	U-Ka2	4,41

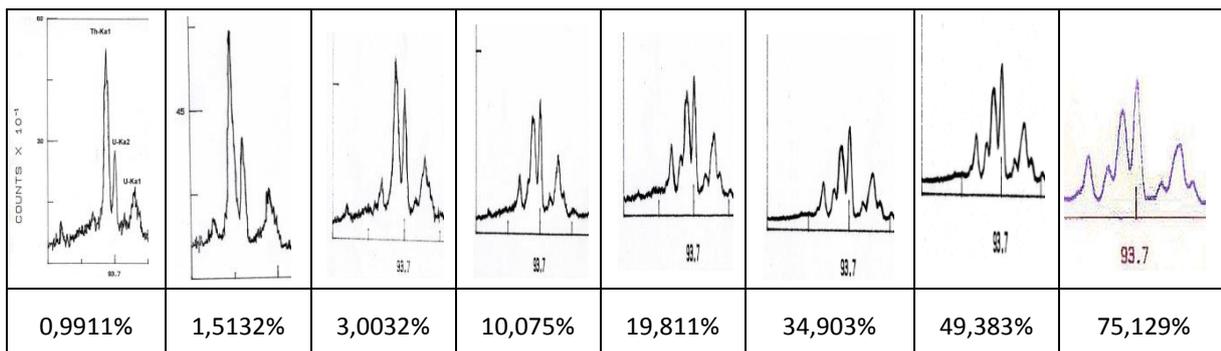
Peluruhan isotop  $^{235}U$  dan  $^{238}U$  disertai dengan pemancaran sinar-X karakteristik. Sinar-X karakteristik ikutan dari peluruhan tersebut disebabkan adanya transisi elektron ke orbital elektron kulit K (U-Ka1, U-Ka2 dan Th-Ka1), sinar-X yang dihasilkan mempunyai energi 93 keV sampai dengan 99 keV. Pola puncak sinar-X antara energi 93 keV sampai dengan 94 keV dari uranium dengan kandungan  $^{235}U$  dibawah 10% mempunyai puncak sinar-X karakteristik dari anak luruh lebih tinggi dari

pada puncak uranium. Antara puncak thorium dan proaktinium membentuk puncak tunggal, hal ini disebabkan oleh proaktinium hasil peluruhan dari deret dari  $^{238}\text{U}$  yang mempunyai waktu paro 6,75 jam yang berasal dari  $^{234}\text{Th}$ , peluruhan tersebut didominasi oleh keseimbangan transien. Uranium dengan kandungan  $^{235}\text{U}$  lebih besar dari 10% terjadi penurunan keseimbangan transien antara  $^{235}\text{U}$  dengan  $^{234}\text{Pa}$ , oleh sebab itu dukungan puncak proaktinium menurun dan timbul puncak yang terpisah antara thorium dan proaktinium. Di samping itu kenaikan kandungan  $^{235}\text{U}$  akan menyebabkan paparan radiasi total dalam sampel meningkat. Peningkatan radiasi ini menyebabkan jumlah radiasi yang berinteraksi dengan atom dalam bahan akan meningkat (Gambar 4), akan tetapi laju peningkatan interaksi radiasi dengan uranium lebih besar dibandingkan dengan laju peningkatan interaksi radiasi dengan thorium dan proaktinium. Perbedaan pola spektrum tersebut ditunjukkan dengan perbedaan hubungan antara komposisi isotop dengan perbandingan luas puncak energi 93,35 keV/ 94,66 keV (Gambar 5).

Isotop thorium anak luruh  $^{235}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$  mempunyai waktu paro dalam periode waktu hampir sama (satuan jam) sedangkan isotop proaktinium dari kedua isotop uranium tersebut mempunyai waktu paro sangat berbeda ( $T_{1/2}^{231}\text{Th}$ : 25,52 jam dan  $T_{1/2}^{234}\text{Pa}$ : 6,75 jam), sehubungan dengan hal tersebut menyebabkan perbedaan komposisi isotopik uranium akan menyebabkan perbedaan paparan radiasi- $\beta$  dan kandungan unsur-unsur yang ada dalam bahan uranium tersebut.



Gambar 4. Hubungan antara kelimpahan berat isotop  $^{235}\text{U}$  terhadap net area puncak spektrum sinar-X karakteristik U-Ka2 dan ThKa1.



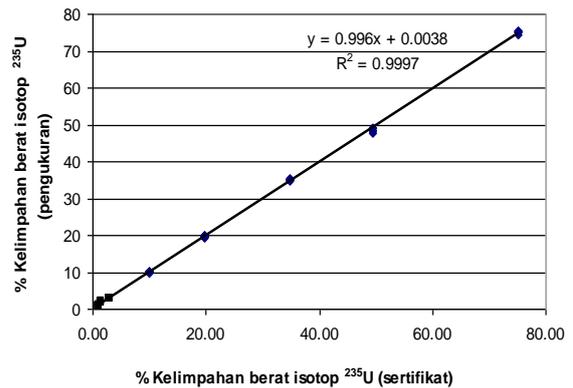
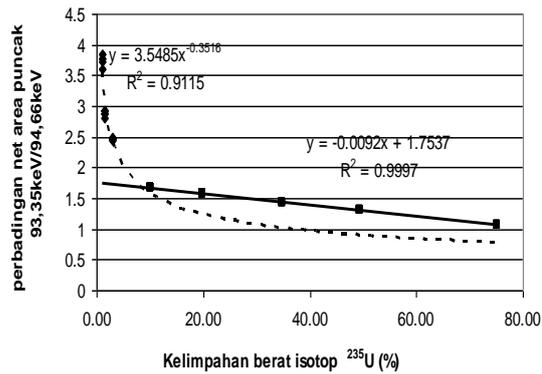
Gambar 5. Pola spectrum sinar-X U-Ka1, UKa2 dan Th-Ka1 dari berbagai komposisi isotopik  $^{235}\text{U}$  dalam  $\text{U}_3\text{O}_8$ .

Hubungan antara % berat  $^{235}\text{U}$  dalam sampel terhadap perbandingan net area puncak spektrum sinar-X karakteritik Th-Ka1 (93,35 keV) dengan sinar-X karakterisik U-Ka2 (94,66 keV) menunjukkan adanya

dua daerah pola hubungan yang berbeda tersebut yaitu: pola hubungan di daerah kandungan  $^{235}\text{U}$  dibawah 10% berat dan daerah kandungan  $^{235}\text{U}$  diatas 10% berat (Gambar 6a) sehingga dengan melihat pola

spektrum pada daerah tersebut dapat diketahui komposisi isotop uranium dalam sampel. Sementara itu untuk penentuan nilai komposisi isotop uranium dengan cara relative (dengan memasukkan nilai perbandingan net area hasil pengukuran pada persamaan hubungan perbandingan intensitas terhadap prosen komposisi isotop

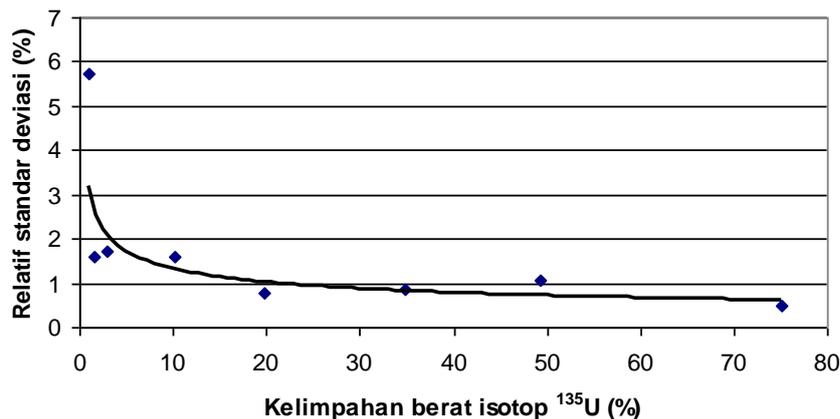
<sup>235</sup>U) berdasarkan daerah komposisi isotop <sup>235</sup>U tersebut, menunjukkan nilai hasil pengukuran relatif sama dengan nilai sebenarnya (dalam sertifikat bahan standar). Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 6b dan bias dari pengukuran ini dibawah 3% (Gambar 7).



a. Hubungan antara kelimpahan isotop <sup>235</sup>U terhadap perbandingan net area puncak sinar-X 93,35keV/94,66keV.

b. Perbandingan kelimpahan isotop <sup>235</sup>U dalam sampel dari hasil pengukuran terhadap nilai dalam sertifikat.

Gambar. 6. Hasil pengukuran komposisi isotop uranium dengan menggunakan indikator pengukuran sinar-x pada energi 93,35 keV dan 94,66 keV.



Gambar 7. Relatif standar deviasi pada penentuan % berat <sup>235</sup>U

**SIMPULAN**

Dari hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa sinar-X karakteristik dari uranium dan anak luruhnya (thorium) dapat digunakan

sebagai indikator analisis komposisi isotopik uranium dengan cara tidak merusak. Pola spektrum antara energi 90 keV sampai 95 dapat mengindikasikan daerah kandungan

$^{235}\text{U}$  lebih kecil atau lebih besar dari 10%. Hasil penentuan isotopik uranium dengan metode relatif menggunakan kurva kalibrasi perbandingan antara puncak sinar-X mempunyai bias dibawah 3% untuk sampel dengan komposisi isotop  $^{235}\text{U}$  di atas 1% berat.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Bapeten. (2011). Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Nomor 4/Ka.BAPETEN/2011.
2. Undang-undang RI Nomor 10 tahun 1997 tentang Ketenaga Nuklir.
3. IAEA. (1997). *Safeguards Techniques and Equipment*. International Verification Series, No.1,Vienna.
4. Yusuf Nampira. (2007). Analisis Uranium secara Radiometri. Proceedings Seminar PTAPB-BATAN, Yogyakarta.
5. Richard B. Firestone. (1996). *Table of Isotopes" 8<sup>th</sup> ed. volume II*. A. Wiley Interscience Publication.
6. Gerhard Friedlander, Joseph W Kennedy, Edward S.Macias, Julian Malcolm Miller. (1987). *Nuclear and Radiochemistry, 3<sup>d</sup> ed*. A. Wiley Interscience Publication.