

ANALISIS URANIUM-235 DALAM TABUNG SASARAN

Yayan Tahyan, Martalena, Wayan R.S
Pusat Produksi Radioisotop - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK.

ANALISIS URANIUM-235 DALAM TABUNG SASARAN. Untuk tujuan akunting U-235 serta untuk menjamin mutu sasaran Uranium agar diperoleh efisiensi dan keamanan iradiasi yang tinggi, telah dilakukan analisis jumlah U-235, uji distribusi, dan uji kerontokan pada tabung sasaran Uranium serta penentuan keandalan metode analisis yang digunakan. Jumlah U-235 yang ada dalam tabung sasaran ditentukan secara spektrometri gamma pada energi 185.7 keV menggunakan detektor NaI. Sebagai standar digunakan 3 buah tabung sasaran standar, serta standar U-235 NBL untuk *control chart*. Uji distribusi dilakukan dengan menentukan homogenitas cacahan U-235 pada beberapa bagian tabung sasaran, sedangkan uji kerontokan ditentukan dengan membandingkan cacahan rontokan U-235 yang dikumpulkan pada salah satu ujung tabung terhadap cacahan rontokan U-235 pada tabung sasaran standar. Keandalan metode analisis ditentukan dari ketepatan analisis dan ketelitian (%CV) dari pengukuran analisis suatu standar. Dari penelitian ini diperoleh bahwa metode analisis ini cukup andal karena memberikan ketelitian (%CV = 0.69%) dan ketepatan 95%. Disamping itu diperoleh pula hasil bahwa mutu tabung sasaran Uranium yang dibuat di PPR cukup baik, karena U-235 yang terdapat dalam tabung dan U-235 yang rontok tidak melebihi batas yang telah ditentukan serta jumlah U-235 dalam tabung sasaran tidak jauh berbeda satu sama lain (%CV < 15%).

ABSTRACT.

ANALYSIS OF U-235 IN TARGET TUBE. For U-235 accounting and to assure the quality of the Uranium target tube, the analysis of U-235, distribution test and fall off test of the U target tube have been carried out. The validity of the method has also been determined. U-235 content of U target tube was determined using Gamma Spectrometri at 185.7 keV with NaI detector. Three U target tubes were used for standard and NBL U-235 standard was also used for control chart. A test for distribution was performed by determination of the homogeneity of counts at several part of the target tube. Fall off test was done by comparing the standard counts to the counts of the U-235 fall off which is collected at the one end of the tube. The validity was determined from the precision and accuracy of the method. The method was found to be valid as the precision found is 0.69% CV with the accuracy of more than 95%. It has also been found that the quality of the Uranium target tubes were satisfactory since the U content and U fall off were not higher than that of the requirement, and also the U content was not varied for one batch to another (%CV < 15%).

PENDAHULUAN.

Salah satu tugas pokok Pusat Produksi Radioisotop, adalah memproduksi radioisotop hasil fisi seperti Mo-99, Xe-133, I-131 yang dibuat dengan penembakan sasaran Uranium-235 dengan neutron termal di fasilitas iradiasi Reaktor Serba Guna Serpong atau Triga Mark II, PPTN - Bandung. Tabung sasaran Uranium-235 yang digunakan berbentuk kelongsong dari tabung *stainless steel*, dimana Uranium terplatekan dalam tabung tersebut (Gambar 1).

Uranium yang dipakai dalam proses produksi adalah salah satu bahan nuklir yang khusus (Special Nuclear Material), yang pemakaiannya mendapat pengawasan dari Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA), terutama dari segi akuntingnya (1). Oleh karena itu diperlu-



Uranium (U-235 93,15 %)

Gambar 1. Tabung sasaran Uranium-235

kan suatu metode analisis Uranium, baik untuk Uranium prairadiasi maupun pasca iradiasi.

Selain untuk keperluan akunting, analisis Uranium-235 dalam target diperlukan juga untuk menjamin keselamatan selama dilakukan iradiasi sasaran di Reaktor. Jumlah Uranium-235 yang lebih besar dari batas yang telah ditentukan, bila di iradiasi di reaktor dapat me-

nimbulkan suhu yang sangat tinggi akibat *gamma heating* sehingga menyebabkan selongsong tabung meleleh dan dapat menyebarkan zat-zat radioaktif di sekitar reaktor.

Ketidak homogenan Uranium-235 dalam sasaran dan jumlah kerontokan (Fall Off) yang melebihi ketentuan, juga dapat menimbulkan distribusi panas yang tidak merata, sehingga dapat menimbulkan keretakan dan kemungkinan dapat menimbulkan terjadinya kontaminasi.

Uranium-235 mempunyai energi γ 185,7 keV dengan Intensitas 57,5% (2). Pengukuran Uranium-235 dilakukan dengan menggunakan Spektrometri Gamma. Pemilihan metode yang digunakan selain ditentukan oleh keunggulan juga dipertimbangkan dan disesuaikan dengan peralatan yang ada.

Dari penelitian ini diharapkan dapat ditentukan keandalan metode analisis Uranium-235 dalam bentuk tabung sasaran dan dapat mengetahui mutu sasaran Uranium-235 yang diproduksi.

TATA KERJA.

Bahan dan peralatan :

Bahan yang digunakan antara lain : larutan standar U-Spike (kandungan Uranium-235 99.8195%) dari NBS (National Beareau Standar) atau NBL (National Bronswick Laboratory) yang digunakan untuk kontrol; tabung sasaran standar yang mengandung Uranium-235 sebanyak 0.0225 gram buatan Bidang Produksi Radioisotop yang telah distandarisasi dengan Standar Uranium-235 dari NBS/NBL. Tiga tabung standar Uranium-235 Standar (buatan Bidang Produksi Radioisotop) yang mengandung Uranium-235 0,5 gram, 1 gram, 2 gram yang telah distandarisasi dengan menggunakan standar NBS/NBL.

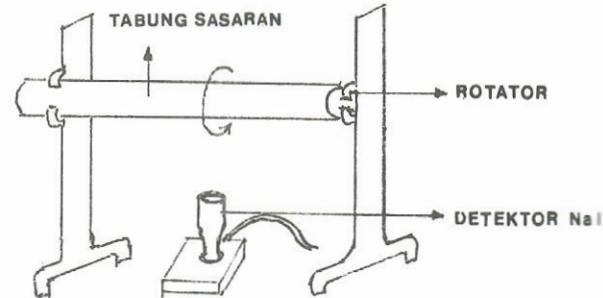
Peralatan yang digunakan adalah Multi Channel Analyzer buatan E&G ORTEC Model 7450 yang dilengkapi dengan detektor NaI. Sebagai alat pemutar tabung sasaran digunakan Rotator Model 612- T Filtered DC Power Supply.

Metode kerja

a. Penentuan Kurva Kalibrasi Berat Uranium-235.

Sebelum dilakukan pencacahan tabung sasaran Uranium-235, perlu dilakukan pencacahan larutan Standar U-Spike sebanyak 3 kali dengan waktu cacahan 5 menit. Apabila nilai rata-rata cacahannya terletak dalam rentang $X \pm 2 SD$, baru kemudian pencacahan tabung sasaran U-235 dilakukan. Masing-masing ta-

bung sasaran dicacah sambil diputar sebanyak 3 kali dengan waktu cacahan 5 menit (Gambar



Gambar 2. Skema pencacahan tabung sasaran Uranium-235.

2.).

Setelah didapatkan nilai cacahan dari masing-masing tabung, isi masing-masing tabung dilarutkan dengan larutan asam nitrat. Kemudian dari larutan tersebut ditentukan berat Uranium totalnya secara Potensiometri dengan memakai metode Davies & Gray (4). Berat Uranium-235 dalam masing-masing sasaran dihitung dengan rumus :

$$U-235 = \text{Berat U-Total} \times \text{Faktor Pengayaan}$$

Dari pengerjaan di atas didapat data hasil pencacahan dan berat Uranium-235 dari masing-masing tabung sasaran standar. Kemudian dibuat persamaan garis antara nilai cacahan tabung sasaran standar terhadap berat Uranium-235 dalam tabung sasaran standar .

b. Penentuan Ketelitian Analisis.

Pencacahan terhadap larutan standar U-Spike dari NBS/NBL dilakukan masing-masing selama 5 menit sebanyak 50 kali. Kemudian dihitung rata-ratanya (\bar{x}), Standar Deviasi (SD) dan koefisien variasi (%CV) dari pengukuran tersebut. Ketelitian pengujian ditentukan dari % CV yang didapat.

c. Penentuan Ketepatan Analisis.

Ketepatan analisis ditentukan dengan mencacah 0,186 gram Uranium-235. Kemudian Uranium-235 tersebut ditentukan kembali dengan menggunakan prosedur yang sama seperti pada prosedur f. Ketepatan analisis ditentukan dari % daur ulang ("recovery") yang dihitung sebagai berikut :

$$\% \text{ Ketepatan} =$$

$$\frac{\text{berat U - 235 Hasil Pengujian}}{\text{Berat U - 235 sebenarnya (0,186 g)}} \times 100 \%$$

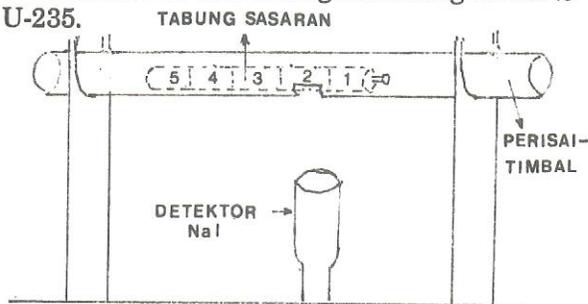
Ketepatan analisis diyakinkan dengan menentukan Uranium-235 dengan dua metode, yaitu dengan metode Spektrometri Gamma dan dibandingkan terhadap pengujian dengan metode Potensiometri Davis & Gray.

d. Penentuan jumlah Uranium-235 dalam cuplikan tabung sasaran.

Cuplikan tabung sasaran dicacah sambil diputar sebanyak 3 kali dengan waktu cacahan 5 menit. Berat Uranium-235 dalam cuplikan tabung sasaran dapat diketahui dari kurva kalibrasi.

e. Penentuan Distribusi Uranium-235 dalam cuplikan tabung sasaran.

Penentuan distribusi Uranium-235 dalam tabung sasaran ditentukan dengan mencacah tabung sasaran yang dibagi menjadi lima bagian. Tiap bagian dicacah selama 5 menit. Selama pencacahan tabung sasaran dimasukkan ke dalam perisai timbal khusus (gambar 3). Distribusi Uranium-235 dalam target dihitung dalam % U-235.



Gambar 3. Skema penentuan distribusi Uranium-235 dalam tabung sasaran.

$$\% \text{ U - 235} = \frac{\text{Fraksi Cacahan}}{\text{Cacahan Total}} \times 100 \%$$

f. Penentuan kerontokan (Fall Off) Uranium-235 dalam tabung sasaran.

Untuk menentukan jumlah Uranium-235 yang rontok dalam tabung sasaran, terlebih dahulu diperlukan tabung sasaran standar yang berisi Uranium-235 yang tidak menempel seberat 0,0225 gram dari NBS/NBL. Ujung tabung sasaran standar tersebut dicacah selama 5 menit (z). Cuplikan tabung sasaran diketuk-ketukkan ujungnya pada posisi tegak dan kemudian dicacah selama 5 menit (x). Cuplikan tabung sasaran dibalik dan diketuk-ketukkan kembali, lalu ujung tabung sasaran yang tadi, dicacah kembali selama 5 menit (y). Jumlah Uranium-235 yang rontok dalam cuplikan tabung sasaran dapat dihitung dengan memban-

dingkan cacahan cuplikan terhadap cacahan standar.

$$\text{Gram Fall Off} = \frac{x - y}{z} \times g$$

x = cacahan yang tidak rontok + yang rontok
y = cacahan yang tidak rontok

z = cacahan standar

g = berat U-235 dalam tabung Standar

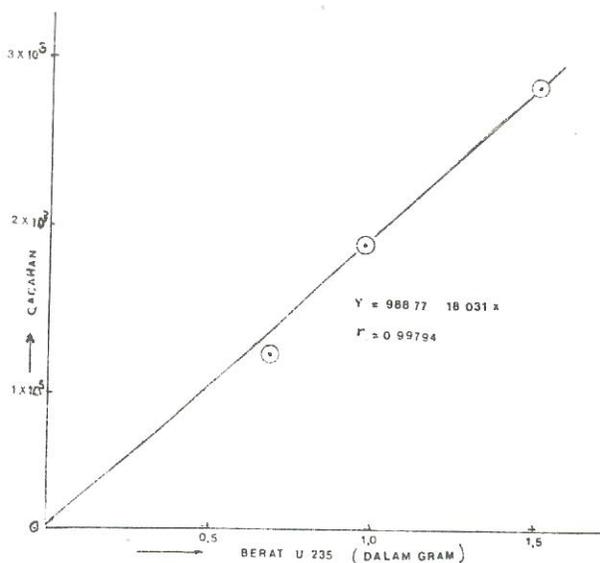
Sedangkan % kerontokan (Fall Off) dihitung sebagai berikut :

% U - 235 yang rontok =

$$\frac{\text{Gram Fall Off}}{\text{Berat U - 235 dalam tabung sasaran}} \times 100 \%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

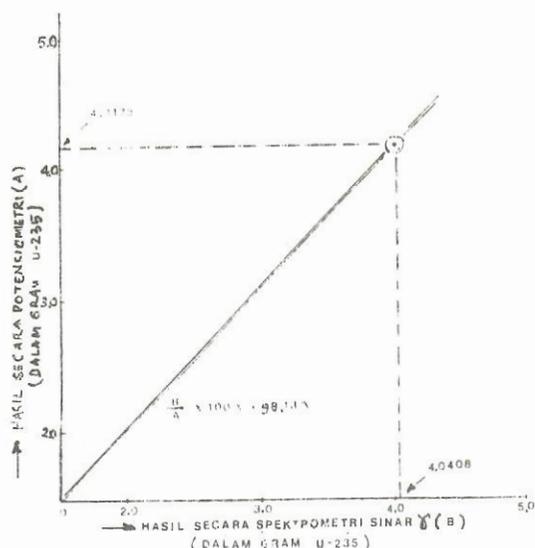
Penentuan jumlah Uranium-235 dalam



Gambar 4. Penentuan jumlah Uranium-235 dalam tabung sasaran yang dihitung dengan memakai kurva linier standar.

tabung sasaran yang dihitung dengan memakai kurva linier standar (Gambar 4) mempunyai ketepatan yang cukup tinggi.

Hal ini terlihat bila dibandingkan dengan cara Potensiometri yang memberikan hasil tidak jauh berbeda 98.13% (Gambar 5, lihat halaman berikut). Dalam penentuan ini sasaran yang dicacah harus diputar agar sinar yang tertangkap detektor sedapat mungkin mewakili seluruh Uranium-235 yang ada dalam tabung sasaran.



Gambar 5. Korelasi hasil antara metode Potensimetri dan metode Spektrometri Gamma.

Penentuan distribusi Uranium-235 dalam sasaran perlu dilakukan agar dapat ditentukan posisi sasaran pada saat iradiasi. Posisi tabung sasaran dapat diatur sedemikian rupa sehingga panas yang timbul selama iradiasi tidak terlalu jauh berbeda pada seluruh bagian tabung sasaran. Dari hasil penentuan selama ini (Tabel 1), bagian 1 selalu sedikit lebih besar dari bagian lainnya. Ini disebabkan sewaktu larutan Urani-

Tabel 1. Hasil penentuan distribusi Uranium dalam sasaran.

| No. Batch Tabung Sasaran | % Distribusi | | | | |
|--------------------------|--------------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V |
| U-004 | 27,8 | 20,2 | 17,5 | 12,4 | 12,1 |
| U-007 | 23,2 | 19,3 | 21,7 | 21,7 | 13,8 |
| U-008 | 29,5 | 26,2 | 15,2 | 14,4 | 14,8 |
| U-010 | 27,7 | 24,5 | 12,3 | 15,3 | 20,1 |
| U-012 | 22,3 | 18,5 | 21,0 | 19,5 | 17,2 |
| U-022 | 28,5 | 20,7 | 20,9 | 19,5 | 10,1 |
| U-023 | 22,5 | 22,0 | 21,9 | 21,8 | 11,5 |

um-235 di *electroplating*, posisi bagian 1 merupakan bagian pertama yang menerima larutan Uranium-235.

Hasil penentuan kerontokan (Fall Off) (Tabel 2), belum pernah melebihi batas yang ditentukan yaitu 1.5% dari total Uranium-235 yang ada dalam sasaran (2). Adanya Uranium-235 yang tidak menempel dengan baik pada permu-

kaan tabung sasaran dalam jumlah yang tertentu dapat menimbulkan akumulasi panas yang Tabel 2. Hasil penentuan kerontokan (Fall Off).

| | No. Tabung Sasaran | % Fall Off |
|---|--------------------|------------|
| 1 | U-004 | 0,017 |
| 2 | U-007 | 0,030 |
| 3 | U-008 | 0,033 |
| 4 | U-009 | 0,100 |
| 5 | U-010 | 0,133 |
| 6 | U-012 | 0,310 |
| 7 | U-022 | 0,190 |
| 8 | U-023 | 0,130 |

tinggi pada suatu tempat dimana U-235 yang rontok terkumpul.

Adanya akumulasi panas yang tinggi dapat menimbulkan perbedaan suhu yang tinggi dan memungkinkan terjadinya keretakan tabung. Oleh karena itu Uranium-235 yang rontok jumlahnya tidak boleh melebihi batas yang diijinkan 0,0225 gram (1.5%).

Penentuan ketelitian dan ketepatan analisis memberikan %CV 0.69 dan % recovery 95%. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang

$$\bar{x} = 90031,74$$

$$SD = 624,07$$

$$\% CV = 0,69 \%$$

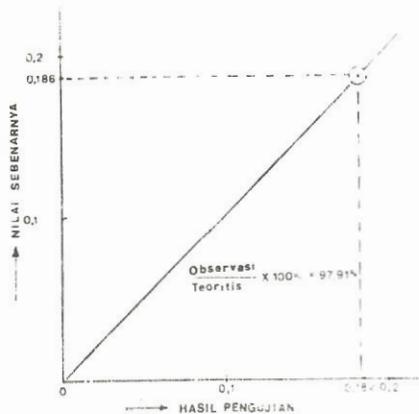
$$\text{dengan } P = 95 \% \longrightarrow \pm 2SD$$

$$P = 99 \% \longrightarrow \pm 3SD$$

Gambar 6. Control Chart Standar U-235 NBS dalam pengujian Uranium-235 di PPR

digunakan mempunyai ketelitian dan ketepatan yang cukup tinggi (Gambar 6 dan 7).

Pada Tabel 3. dapat dilihat bahwa hasil yang didapat dari pemeriksaan jumlah Uranium-235 dalam tabung sasaran pada setiap batch



Gambar 7. Grafik antara Gram Fall Off sebenarnya terhadap Gram Fall Off hasil pengujian

Tabel 3. Hasil pemeriksaan jumlah Uranium-235 dalam setiap tabung sasaran pada setiap batch yang diproduksi.

| | No. Tabung Sasaran | Berat U-235 (gram) |
|---|--------------------|--------------------|
| 1 | U-004 | 1,1890 |
| 2 | U-007 | 1,5273 |
| 3 | u-008 | 1,6465 |
| 4 | U-009 | 1,6804 |
| 5 | U-010 | 1,2570 |
| 6 | U-012 | 1,4437 |
| 7 | U-022 | 1,7167 |
| 8 | U-023 | 1,4733 |

$\bar{x} = 1,4917$
 $SD = 0,19303$
 $\%CV = 12,94 \%$

yang diproduksi memberikan hasil yang bervariasi tetapi lebih kecil dari 15%.

Pada penentuan Uranium-235 secara keseluruhan, sumber kesalahan pada pengujian dapat berasal dari kesalahan pembacaan alat Multi Channel Analyzer, dimana sensitifitasnya sangat dipengaruhi oleh fluktuasi arus listrik yang tidak stabil. Untuk mengatasi hal ini digunakan *control chart*. Standar U-Spike tersebut dicacah setiap akan melakukan pengujian. Harga rata-rata replikat sumber standar harus berada pada rentang $\bar{x} \pm 2SD$. Jika nilai rata-rata cacahan sumber standar tidak dalam rentang $\bar{x} \pm 2SD$, perlu dilakukan kalibrasi ulang terhadap alat tersebut.

Dalam penentuan ini digunakan detektor NaI karena mempunyai efisiensi lebih tinggi dari HPGe/GeLi walaupun daya pisahnya lebih rendah. Dalam analisis Uranium-235 ini tidak diperlukan daya pisah yang tinggi karena umumnya tidak banyak pengotor nuklida yang lainnya.

KESIMPULAN.

Berdasarkan hasil penelitian ini, metode pengukuran Uranium-235 dalam tabung sasaran secara Spektrometri Gamma merupakan metode yang andal, karena memberikan hasil analisis dengan ketelitian (%CV) 0.69 dan ketepatan >95%. Di samping itu, juga dapat digunakan secara rutin dalam akunting Uranium-235 maupun dalam menjamin keselamatan iradiasi sasaran di reaktor.

Dari penelitian ini pula dapat diketahui bahwa sasaran Uranium yang digunakan dalam proses produksi radioisotop bermutu baik, karena memenuhi persyaratan yang telah ditentukan, yaitu dalam hal jumlah berat Uranium-235, distribusi dalam tabung dan besarnya *fall off*.

DAFTAR PUSTAKA

1. DONALD R. ROGERS, Handbook of nuclear safeguards measurement methods, United States Nuclear regulatory Commission (1985)
2. ANONIM, Quality control manual fission product Mo-99, Medi-Physics (1985)
3. ANONIM, EG & G Ortec, Multichannel Analyzer Instruction manual Model 7450.
4. R. SUPARNA, WAYAN, Dasar-dasar analisis U-235 dan U-total dalam produksi radioisotop hasil fisi, Diklat Keahlian Operator Kendali Kualitas PPR-BATAN, 7 Januari - 1 Februari 1991.

DISKUSI

Wisnu Susetyo :

Mengapa untuk menentukan presisi dari sistem analisis yang sedang Saudara teliti digunakan *spike-U* (dalam ampul) dan dicacah pada geometri berbeda dengan tabung U standar maupun cuplikan

Yayan Tahyan :

U-spike hanya digunakan untuk menentukan ketelitian dari alat-alatnya sendiri. Seharusnya memang geometri antara penentuan cuplikan dan standar harus sama, tetapi berhubung standarnya telah kami larutkan kembali (untuk penentuan U-total secara Potensiometri).

Terimakasih atas sarannya, untuk perbaikan pada penentuan kurva kalibrasi yang akan datang.

Nasfryzal Corlo:

Saya ingin mengetahui; jenis reaktor apa yang digunakan/dipakai di PPR karena bahan-bahannya U-235 diperkaya sangat tinggi ($\pm 93, \dots$ %), pada hal menurut kemas saya, bahan bakar suatu reaktor (PLTN) dengan bahan bakar U-235 diperkaya sebesar 2 - 6 %. Dan reaktor TRIGA MARK II saja, bahan bakarnya hanya diperkaya sebesar ± 20 % saja. Mohon dijelaskan jenis reaktor, buatan negara mana ?

Yayan Tahyan :

Di PPR tidak ada reaktor, jadi reaktor yang digunakan memanfaatkan fasilitas yang ada di reaktor GA Siwabessy atau TRIGA MARK II PPTN.

U-235 dengan pengkayaan 93,12 % digunakan agar didapat radioisotop yang dihasilkan dari hasil fisi mempunyai aktivitas yang tinggi, tetapi digunakan *raw material* yang sedikit.

Dengan 1,5 gram U-235 (93,15 %) diharapkan dapat menghasilkan Mo-99 ± 40 Ci dengan daya reaktor ± 5 MW.