

PENENTUAN AKTIVITAS SUMBER RADIOAKTIF PEMANCAR GAMMA Eu-152 DI LABORATORIUM PTNBR

Indah Kusmartini, Djoko Prakoso Dwi Atmodjo, Syukria Kurniawati, Diah Dwiana
Lestiani

Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri - BATAN
Jl. Taman Sari No. 71 Bandung 40232
Email : indahkus@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN AKTIVITAS SUMBER RADIOAKTIF PEMANCAR GAMMA Eu-152 DI LABORATORIUM PTNBR. Jaminan kualitas hasil pengukuran sangat diperlukan untuk suatu laboratorium pengujian. Laboratorium Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (Lab PTNBR) merupakan laboratorium pengujian yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Untuk membuktikan kualitas data analisisnya Lab. PTNBR mengikuti uji banding antar laboratorium pengukuran radioaktivitas ^{152}Eu yang diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR). Penentuan aktivitas radionuklida ^{152}Eu dilakukan dengan metode relatif menggunakan spektrometer gamma. Prosedur kerja pada kegiatan ini terdiri dari beberapa tahap yaitu kalibrasi energi, kalibrasi efisiensi, pembuatan kurva kalibrasi efisiensi, validasi metode dan penentuan aktivitas sumber standar. Kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan standar mix QCRB 1186 dan standar ^{152}Eu . Pencacahan dilakukan pada jarak 20 cm dari detektor selama 3600 detik. Kurva efisiensi dibuat secara manual menggunakan program Excel. Penentuan aktivitas dilakukan dengan mencacah sampel ^{152}Eu pada posisi yang sama dengan sumber standar ^{152}Eu selama 3600 detik. Perhitungan aktivitas dilakukan dengan persamaan radioaktivitas. Validasi metode dilakukan dengan menghitung aktivitas mix standar QCRB 1186 dan standar titik ^{152}Eu dengan prosedur yang sama dengan sampel. Validasi metode menggunakan ^{60}Co dalam standar mix dan standar titik ^{152}Eu dengan nilai recovery masing-masing sebesar 99,9% dan 96,7%. Nilai tersebut memberikan hasil yang baik berada dalam rentang yang diijinkan (80-120%). Pengukuran radioaktivitas sampel uji banding terhadap nilai acuan memberikan bias relatif sebesar 7,4%. Nilai tersebut dikategorikan memuaskan karena berada pada bias relatif kurang dari 10%. Dari hasil tersebut dapat dinyatakan laboratorium PTNBR memiliki kompetensi yang baik dalam melakukan pengujian radioaktivitas ^{152}Eu .

Kata kunci: aktivitas, ^{152}Eu , uji banding

ABSTRACT

DETERMINATION OF GAMMA EMITTING ACTIVITY OF ^{152}Eu SOURCE IN PTNBR LABORATORY. Quality control of result measurement is needed for laboratory testing. Laboratory Center of Nuclear Technology for Material and Radiometry (lab PTNBR) is a testing laboratory accredited by National Accreditation Body (KAN). In order to ensure the quality of analysis, lab PTNBR participated the inter comparison test for measurement radioactivity ^{152}Eu organized by the Center for Safety Technology and Metrology Radiation (PTKMR). Determination of radionuclide ^{152}Eu activity is carried out by relative method using a gamma spectrometer. The procedure of this activity consist of several steps: energy calibration, efficiency calibration, the calibration curve of efficiency and method validation using standard mix QCRB 1186. Counting was carried out at a 20 cm distance from the HPGe detector for 3600 seconds. Efficiency curve is created manually using Excel program. Determination of the activities was conducted by counting the sample ^{152}Eu in the same position with the standard ^{152}Eu for 3600 seconds. Calculation of activity was carried out using the radioactivity formula. Validation of the method is done by calculating the radioactivity of mix standard QCRB 1186 and point source ^{152}Eu with the same procedure with samples. The recovery of method validation using ^{60}Co in

mix standard and point source¹⁵²Eu were 99,9% and 96,7% respectively. It gives good results within the acceptable range (80-120%). Radioactivity measurements of inter comparison sample, compared to the reference value gives relative bias was 7,4%. The category of value was satisfactory results with relative bias to the reference value less than 10%. From these results, it can be stated that the PTNBR laboratory have good competence in testing radioactivity¹⁵²Eu .

Keywords: ¹⁵²Eu, activity, interlaboratory comparison

1. PENDAHULUAN

Radionuklida ¹⁵²Eu merupakan produk hasil fisi uranium dengan *yield* 20,8% memancarkan sinar gamma pada energi utama 1408 keV dengan waktu paro 13,33 tahun. Pemanfaatan utama ¹⁵²Eu dalam batang kendali reaktor nuklir, karena sifatnya yang efektif dalam menyerap neutron. Di bidang elektronik ¹⁵²Eu telah digunakan sebagai bahan laser, dan oksida europium berfungsi sebagai fosfor aktivator. Sebagai contoh, Eu telah digunakan untuk mengaktifkan yitrium vanadat dalam fosfor merah tabung televisi berwarna [1,2].

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) sebagai lembaga negara yang bergerak di bidang teknologi nuklir memiliki beberapa laboratorium pengujian dan kalibrasi serta laboratorium lingkungan yang melakukan kegiatan pengukuran aktivitas radionuklida. Laboratorium tersebut dituntut untuk memiliki kompetensi yang tinggi dalam melakukan pengukuran radioaktivitas secara tepat dan akurat. Kompetensi suatu laboratorium dalam melakukan pengukuran, dalam hal ini radioaktivitas ditunjukkan dengan jaminan mutu hasil pengujian [3].

Penyajian data pengukuran yang akurat dan presisi menjadi salah satu syarat bagi laboratorium pengujian sehingga jaminan kualitas hasil pengukuran sangat diperlukan. Laboratorium Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri (lab PTNBR) telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN) sebagai laboratorium pengujian dengan nomor akreditasi LP-311-IDN sejak tanggal 2 Mei 2006. Kinerja laboratorium dapat diketahui dengan mengikuti program Uji Banding Antar Laboratorium yang merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi unjuk kerja laboratorium terkait kaji ulang sistem mutu laboratorium [4]. Berkaitan dengan hal tersebut, laboratorium PTNBR telah berpartisipasi pada Uji Banding penentuan radioaktivitas antar laboratorium BATAN yang diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR).

Sampel uji berupa sumber standar titik ¹⁵²Eu. Kegiatan uji banding antar laboratorium ini dilakukan untuk menilai hasil pengukuran suatu laboratorium terutama akurasi dan presisinya, apakah sudah memenuhi kriteria keberterimaan yang telah ditentukan. Dengan dilakukannya kegiatan ini, dapat diketahui tingkat kemampuan atau kompetensi laboratorium peserta [3].

1. TEORI

Spektrometri gamma merupakan salah satu metode pengukuran radioaktivitas yang sering digunakan. Metode tersebut non destruktif dan secara umum tidak memerlukan persiapan sampel. Spektrometri gamma dengan detektor germanium memiliki resolusi tinggi yang diaplikasikan dalam berbagai macam penelitian dan bidang industri [5]. Analisis yang digunakan dalam spektrometri gamma berdasarkan interpretasi spektrum gamma hasil pengukuran. Interaksi antara sinar gamma suatu radionuklida dengan detektor menghasilkan pulsa-pulsa yang sebanding dengan energi gamma radionuklida tersebut dan pada akhirnya diproses secara elektronik yang menghasilkan spektrum gamma [6].

Secara umum pengukuran aktivitas radionuklida terdiri dari dua metode yaitu metode absolut dan relatif. Pengukuran yang dilakukan pada kegiatan ini merupakan pengukuran secara relatif menggunakan sumber standar radionuklida. Sumber tersebut berfungsi sebagai acuan pengukuran dan untuk kalibrasi alat spektrometer gamma sebelum digunakan [3].

Ada dua macam kalibrasi yang perlu dilakukan yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan untuk menentukan hubungan antara nomor salur dengan energi radiasi gamma pada kondisi kerja (tegangan tinggi, penguat dan lain-lain) yang sama. Kalibrasi ini dilakukan dengan mencacah sumber radioaktif standar yang sudah diketahui energinya dengan tepat dan benar. Kalibrasi energi pada sistem pencacah spektrometer

gamma diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif. Besarnya efisiensi ini ditentukan dengan perhitungan nilai cacah per detik (cps), probabilitas pancaran sinar gamma (*yield*) dan aktivitas sumber radioaktif standar. Nilai cps diperoleh dari hasil pencacahan, *yield* diperoleh dari standar acuan yang digunakan dan aktivitas diperoleh dari hasil perhitungan peluruhan saat pengukuran sumber standar. Kalibrasi efisiensi ini digunakan untuk tujuan analisis kuantitatif [7].

Sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi efisiensi dapat berupa *mix standard* yang mewakili jangkauan energi tertentu atau standar tunggal yang memiliki banyak energi gamma seperti ^{152}Eu . Pada kegiatan ini digunakan sumber radioaktif ^{152}Eu yang merupakan sumber pemancar multi gamma dengan energi 121 sampai 1400 keV untuk kalibrasi energi maupun kalibrasi efisiensi.

1.1. Penentuan aktivitas radionuklida

Penentuan aktivitas suatu radionuklida dalam sumber standar maupun dalam sampel menggunakan detektor HPGe spektrometer gamma ditentukan setelah kalibrasi efisiensi dilakukan. Keakuratan dan ketelitian pada penentuan aktivitas zat radioaktif secara relatif menggunakan sistem spektrometer gamma dengan detektor HPGe, sangat tergantung pada ketelitian dan keakuratan kalibrasi efisiensi detektor. Persamaan untuk menentukan aktivitas radionuklida sebagai berikut :

$$A_t = \frac{\text{cps}}{\varepsilon \times Y} \quad (1)$$

Dengan :

- A_t : aktivitas radionuklida (Bq)
- Cps : *count per second*
- ε : efisiensi pengukuran
- Y : *yield* (intensitas sinar gamma)

Aktivitas suatu radionuklida pada saat tertentu dapat ditentukan dari aktivitas awal dihitung dengan persamaan:

$$A_t = A_0 \times e^{(-\lambda \times t)} \quad (2)$$

Dengan :

- A_t : aktivitas pada saat tertentu (Bq)
- A_0 : aktivitas awal (Bq)
- t : beda waktu
- T : umur paro radionuklida

Uji akurasi metode dinyatakan sebagai perbandingan nilai aktivitas hasil percobaan terhadap nilai aktivitas pada sertifikat. Akurasi dapat dinyatakan sebagai % *recovery* [8], yang dihitung dengan persamaan (3) berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{A_{\text{analisis}}}{A_{\text{sertifikat}}} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan :

- A_{analisis} : aktivitas awal analisis (Bq)
- $A_{\text{sertifikat}}$: aktivitas awal sertifikat (Bq)

1.2. Evaluasi uji banding

Panitia penyelenggara, yaitu PTKMR melakukan evaluasi terhadap hasil pengukuran radioaktivitas ^{152}Eu dari laboratorium peserta. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja alat yang digunakan dan konsistensi hasil pengukuran laboratorium peserta dibandingkan dengan pengukuran laboratorium standardisasi PTKMR. Analisis dan evaluasi hasil pengukuran aktivitas masing-masing laboratorium dilakukan dengan menggunakan nilai kesebandingan pengukuran antara laboratorium peserta dan laboratorium standardisasi PTKMR. Nilai perbedaan pengukuran terhadap laboratorium standardisasi PTKMR dihitung dalam % dengan persamaan sebagai berikut [9]:

$$\Delta_{Akt} = \frac{A_{\text{Lab}} - A_{\text{PTKMR}}}{A_{\text{PTKMR}}} \times 100\% \quad (4)$$

Dengan :

- Δ_{Akt} : perbedaan nilai aktivitas laboratorium peserta terhadap PTKMR
- A_{PTKMR} : aktivitas yang diperoleh laboratorium standardisasi PTKMR
- A_{Lab} : aktivitas yang diperoleh laboratorium peserta

3. METODOLOGI

3.1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah standar untuk kalibrasi efisiensi berupa standar titik ^{152}Eu dengan kode IDI-89 dan sampel yang akan diukur berupa *point source* ^{152}Eu dengan kode I5203-2012 dari PTKMR serta *mix standard* QCRB 1186 produksi QSA global GmbH yang digunakan

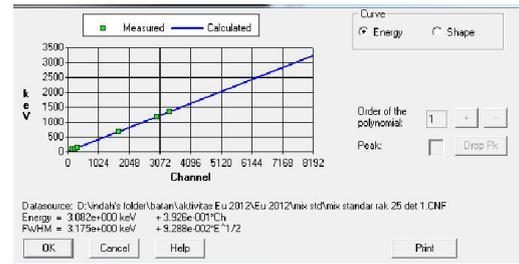
untuk validasi metode. Alat yang digunakan untuk mengukur aktivitas berupa spektrometer gamma produksi Canberra terdiri dari detektor HPGe koaksial tipe GC1519 (FWHM 1,9 keV pada 1333 keV dan efisiensi relatif 15% [10] yang dilengkapi dengan sistem pencacah multisaluran dan *software* GENIE 2000 untuk akuisisi data, analisis puncak gamma dan perhitungan aktivitas yang dipancarkan oleh radionuklida dalam sumber standar.

3.2. Tata Kerja

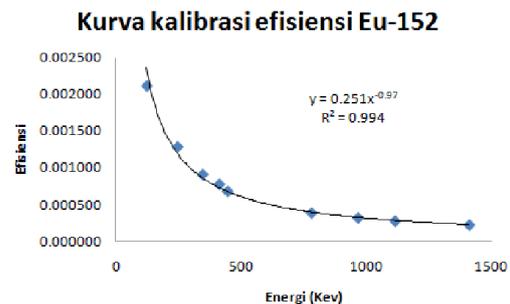
Prosedur pada kegiatan ini terdiri dari beberapa tahap yaitu kalibrasi energi, kalibrasi efisiensi, pembuatan kurva kalibrasi efisiensi, validasi metode dan penentuan aktivitas standar maupun sampel. Kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi dilakukan dengan mencacah standar titik ^{152}Eu yang telah diketahui energinya yaitu dari rentang energi 121-1408 keV. Pencacahan dilakukan pada jarak 20 cm dari detektor selama 3600 detik. Dari akuisisi menggunakan program GENIE 2000, diperoleh kurva kalibrasi yang menunjukkan hubungan antara nomor saluran dengan energi gamma. Dilakukan pula pembuatan kurva efisiensi secara manual menggunakan program Excel. Penentuan aktivitas sampel uji banding dilakukan dengan mencacah sampel ^{152}Eu pada posisi yang sama dengan standar titik ^{152}Eu selama 3600 detik. Perhitungan aktivitas dilakukan menggunakan persamaan radioaktivitas. Validasi metode dilakukan dengan cara menghitung aktivitas *mix standar* QCRB dengan prosedur yang sama dengan sampel, serta perhitungan menggunakan waktu peluruhan dari tanggal produksi pada sertifikat sampai tanggal di mana pencacahan dilakukan.

4. PEMBAHASAN

Pada kegiatan penentuan aktivitas ^{152}Eu , pada sistem spektrometer gamma terlebih dahulu dilakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan dengan menggunakan standar titik ^{152}Eu untuk mengubah cacahan sebagai fungsi saluran (*channel*) menjadi cacahan sebagai fungsi energi. Hasil kalibrasi energi dapat digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan berbagai radionuklida pemancar sinar gamma. Kurva kalibrasi energi standar titik ^{152}Eu ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva kalibrasi energi menggunakan standar *mix* QCRB 1186.



Gambar 2. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan standar ^{152}Eu .

Kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi dengan standar titik ^{152}Eu yang telah diketahui aktivitasnya dilakukan pada jarak 20 cm dari detektor. Pengukuran dilakukan pada jarak tersebut, karena diharapkan kesalahan-kesalahan yang dapat ditimbulkan oleh rangkaian elektronik spektrometer gamma dalam mengolah sinyal yang masuk dapat diminimalkan. Kesalahan tersebut dapat terjadi akibat kehilangan cacah, waktu mati, *summing peak*, dan sebagainya [3]. Selanjutnya untuk kalibrasi efisiensi menggunakan standar titik ^{152}Eu dilakukan perhitungan efisiensi tiap-tiap energi pada sumber standar titik ^{152}Eu secara manual dengan persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\text{cps}}{A_t \times Y} \quad (5)$$

Dengan :

A_t : aktivitas radionuklida (Bq)

Cps : *count per second*

ε : efisiensi pengukuran

Y : *yield* (intensitas sinar gamma)

Rentang energi ^{152}Eu yang digunakan untuk membuat kurva kalibrasi efisiensi berkisar antara 121,8 – 1408 keV. Pada kalibrasi efisiensi ini, diambil 9 tingkat energi dari

sumber standar ^{152}Eu yaitu pada energi 121,8; 244,7; 344,3; 411,1; 444; 778,9; 964,1; 1112 dan 1408 keV. perlu diperhatikan pada kalibrasi energi tersebut tiap anergi gamma masing-masing memiliki intensitas energi. Selain itu, semakin jauh *range* energi sinar gamma yang digunakan untuk kalibrasi efisiensi, semakin banyak radionuklida yang dapat ditentukan aktivitasnya [3,11]. Kurva efisiensi sebagai fungsi energi ditampilkan dalam Gambar 2.

Garis kurva kalibrasi efisiensi berbentuk eksponensial dengan persamaan $y = 0,251x^{-0,97}$ dengan $R^2 = 0,994$. Nilai efisiensi ditunjukkan oleh y sedangkan x menunjukkan tingkat energi (keV). Dari kurva tersebut, efisiensi sampel ^{152}Eu pada energi 1408 keV dapat ditentukan untuk selanjutnya diaplikasikan pada perhitungan aktivitas sampel. Pada kurva kalibrasi efisiensi pada energi gamma diatas 100 keV diperoleh nilai efisiensi yang semakin turun seiring dengan kenaikan energi gamma. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya energi gamma maka foton gamma yang meloloskan diri dari detektor tanpa berinteraksi menjadi makin besar sehingga nilai efisiensi deteksinya akan turun [11].

Untuk menjamin data yang diperoleh dapat dipercaya maka dilakukan validasi metode dengan menghitung aktivitas ^{60}Co dalam mix standar dan ^{152}Eu dalam standar titik ^{152}Eu yang telah diketahui aktivitasnya. Pencacahan mix standar dan standar titik ^{152}Eu dilakukan pada jarak yang sama yaitu 20 cm dari detektor. Perhitungan aktivitas ^{60}Co dan ^{152}Eu menggunakan 2 cara: pertama nilai efisiensi yang diperoleh dari kurva kalibrasi efisiensi ^{152}Eu (Gambar 2) dengan persamaan (1). Cara yang kedua berdasarkan waktu peluruhan yang diperoleh data dari sertifikat yang tertera pada standar mix dan standar titik ^{152}Eu hingga tanggal pencacahan (perhitungan menggunakan

persamaan 2). Hasil perhitungan ditampilkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1. menunjukkan aktivitas ^{60}Co dalam standar mix dan standar titik ^{152}Eu yang diperoleh dari perhitungan dengan persamaan (1). Dari Tabel 1 tersebut diperoleh nilai akurasi yang dinyatakan dalam % *recovery* menggunakan persamaan (3) menunjukkan nilai yang cukup baik untuk ^{60}Co dalam standar mix dan standar titik ^{152}Eu masing-masing sebesar 99,9% dan 96,7%. Nilai *recovery* tersebut masih berada pada rentang yang diijinkan (80-120%) [12].

Penentuan aktivitas sampel uji banding ^{152}Eu dilakukan dengan mencacah sampel selama 3600 detik pada posisi yang sama dengan standar titik ^{152}Eu dan *mix standard* QCRB 1186 yaitu sejauh 20 cm dari detektor. Pencacahan sampel ^{152}Eu dilakukan pada tanggal 11 Juli 2012 pukul 1:47:36 PM. Aktivitas (At) dihitung menggunakan persamaan (1) diperoleh nilai aktivitas ^{152}Eu sebesar 25860 Bq yang ditampilkan pada Tabel 2.

Untuk mengevaluasi hasil pengukuran aktivitas ^{152}Eu laboratorium PTNBR terhadap hasil pengukuran laboratorium standarisasi PTKMR (nilai acuan), aktivitas ^{152}Eu yang diukur pada tanggal 11 Juli 2012 dikonversi ke tanggal 1 April 2012 pukul 12:00 WIB, kemudian ditentukan nilai bias relatif hasil pengukuran laboratorium peserta dengan menggunakan persamaan (4). Hasil evaluasi PTKMR terhadap pengukuran aktivitas ^{152}Eu laboratorium PTNBR dapat terlihat pada Tabel 2. Pengukuran radioaktivitas ^{152}Eu menggunakan spektrometer gamma laboratorium PTNBR memberikan perbedaan nilai acuan <10% dengan nilai bias 7,4%. Nilai bias tersebut menunjukkan akurasi laboratorium PTNBR cukup baik dan memenuhi kriteria keberterimaan (<10%) [9].

Tabel 1. Validasi metode terhadap sumber standar titik ^{152}Eu dan ^{60}Co dalam standar mix QCRB 1186

Sumber	Radionuklida	Produksi	Ao (Bq)	$T^{1/2}$ (Tahun)	At(Bq) Sertifikat	At (Bq) Perhitungan	Recovery (%) terhadap At sertifikat
Standar mix	^{60}Co	1/08/2006	3180	5,27	1598,4	1596,86	99,9
Standar titik ^{152}Eu	^{152}Eu	12/12/1997	185071,3	13,33	89577	86634,30	96,7

Tabel 2. Hasil Perhitungan dan Evaluasi Aktivitas ^{152}Eu

Radionuklida	Energi (keV)	$T^{1/2}$ (Tahun)	At (Bq) tanggal 11 Juli 2012 pada pukul 13:47 WIB	At (Bq) tanggal 1 April 2012 pada pukul 12:00 WIB	Nilai Acuan At (Bq) tanggal 1 April 2012 pada pukul 12:00 WIB	Bias relatif (%) terhadap nilai acuan ($\frac{\Delta_{At}}{At}$)
^{152}Eu	1408	13,33	25860	26234	24426	7,4

5. KESIMPULAN

Laboratorium PTNBR mengikuti kegiatan uji banding penentuan aktivitas ^{152}Eu antar laboratorium BATAN menggunakan metode relatif dengan spektrometer gamma detektor HPGe. Validasi metode menggunakan ^{60}Co dalam standar mix dan standar titik ^{152}Eu dengan nilai *recovery* masing-masing sebesar 99,9% dan 96,7%. Nilai tersebut memberikan hasil yang baik dengan nilai % *recovery* berada dalam rentang yang diijinkan (80-120%). Pengukuran radioaktivitas sampel uji banding terhadap nilai acuan memberikan bias relatif sebesar 7,4%. Nilai tersebut dikategorikan memuaskan karena berada pada nilai acuan bias relatif kurang dari 10%. Dari hasil-hasil tersebut, dapat dinyatakan bahwa laboratorium PTNBR memiliki kompetensi yang baik dalam melakukan pengujian radioaktivitas ^{152}Eu .

6. DAFTAR PUSTAKA

1. **ANONYMOUS.** Human Health Fact Sheet (Argon National Laboratory, EVS) August 2005.
2. **BLAAUW, M.,** The K_0 . Consistent IRI Gamma-Ray Catalogue for Instrumental Neutron Activation Analysis. Interfacultair Reactor Instituut van de Technische Universiteit Delft (1996).
3. **KURNIAWATI, S.,LESTIANI, DD., dan KUSMARTINI, I.** Penentuan Aktivitas ^{131}I dan ^{60}Co di Laboratorium PTNBR. (Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN Bandung, 22 Juni 2011. BATAN. Bandung (2011).
4. **WIYONO, M., ISKANDAR, D., WAHYUDI.** Uji Banding Antar Laboratorium Dalam Penentuan Unsur Pada Cuplikan Sedimen dengan Metode Analisis Aktivasi Neutron. (Prosiding Seminar Nasional AAN 2009 Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN Yogyakarta, 20 Oktober 2009). BATAN Yogyakarta (2009).
5. **ABBAS, K., SIMONELLI, FD'ALBERTI F., FORTE, M., STROOSNIJDER, MF.** Reliability of Two Calculation Codes for Efficiency Calibration of HPGe Detectors. Applied Radiation and Isotopes 56 (2002) 703-709.
6. **PUJADI., WURDIYANTO, G dan CHANDRA, H.** Analisis Kalibrasi Efisiensi Detektor HPGe Rentang Energi 121-1408 keV. (Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI Jateng&DIY. ISSN 0853-0823.
7. **WIJONO, ROSDIANI,** Kalibrasi energi dan efisiensi detektor HPGe Model GC1018 pada rentang energi 121 sampai 1408 keV dengan sumber standar ^{152}Eu LMRI (Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Teknis Non Peneliti, Jakarta 19 Desember 2006) BATAN, Jakarta (2006).
8. **KURNIAWATI, S., LESTIANI, DD., ATMODOJO, DPD.** Penentuan Aktivitas Beberapa Sumber Standar Titik Menggunakan Spektrometer Gamma. (Prosiding Seminar Nasional AAN 2009 Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN Yogyakarta, 20 Oktober 2009). BATAN Yogyakarta (2009)
9. **WURDIYANTO, G., PUJADI, WIDODO, S.,** Interkomparasi Pengukuran Aktivitas Sumber Radioaktif Pemancar Gamma ^{152}Eu di Lingkungan BATAN, PTKMR (2012)
10. **CANBERRA,** Germanium detector user's manual, Canberra industries Inc. (2001).
11. **CANDRA, H., PUJADI., WURDIYANTO,G.,** Pengaruh efek Geometri pada Kalibrasi Efisiensi Detektor Semikonduktor HPGe menggunakan Spektrometer Gamma. Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng dan DIY, Semarang 10 April 2010 Hal 258-264.
12. **AOAC.** Guidelines for Single laboratory Validation of Chemical Methods for DietarySupplements and Botanical. available at:www.aoac.org. (2002)

DISKUSI

Azmairit Aziz

Standar sasaran pengujian? Energi Eu, Apakah Eu dijadikan standar untuk yang lain?

Indah Kusmartini

Satu sampel penyelenggaraan dibagikan kepada laboratorium pengujian untuk mengetahui unjuk kerja pengukuran. Ditemukan beberapa titik maka dapat ditemukan pada energi mana Eu berada. Bisa ke arah sana tapi ini untuk komparasi.