

## UJI PROFISIENSI PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS Cs-134 MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMA

Maskur, Endang Sarmini, Yayan Tahyan, Enny Lestari, Dede Kurniasih, dan Adang H.G.  
PTRR-BATAN, Kawasan PUSPITEK Serpong - Tangerang Selatan - Indonesia  
[maskur@batan.go.id](mailto:maskur@batan.go.id)

### ABSTRAK

**UJI PROFISIENSI PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS Cs-134 MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMA.** Uji Profisiensi merupakan hal penting yang harus dilakukan oleh setiap laboratorium pengujian sebagai dasar Pemastian Mutu Hasil Pengujian. Ketentuan yang ditetapkan pada standar mutu ISO 17025:2008 klausul 5.9 bahwa setiap Laboratorium Pengujian harus memastikan Jaminan Mutu Hasil Pengujian, yaitu melalui keikutsertaan dalam Uji Profisiensi. Laboratorium Uji Radioisotop dan Radiofarmaka (LURR) PTRR – BATAN telah mengikuti Uji Profisiensi Pengukuran Radioaktivitas Cs-134 menggunakan Spektrometer gama yang diselenggarakan oleh PTKMR BATAN selaku laboratorium acuan nasional dalam standardisasi metrologi radiasi. Peserta uji profisiensi sebanyak 21 laboratorium di Batan. Sampel berupa sumber titik yang diberikan oleh penyelenggara kepada masing-masing laboratorium peserta dan selanjutnya diukur radioaktivitasnya. LURR-PTRR mengukur radioaktivitas menggunakan spektrometer gama (Canberra), Detektor HPGe GC-1520, *type coaxial*. Sebelum pengukuran radioaktivitas terlebih dahulu menentukan kurva kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi sistem spektrometer gama menggunakan sumber standar gabungan Cs-137, Co-60, dan Ba-133. Hasil pengukuran radioaktivitas Cs-134 yang diperoleh peserta dilaporkan ke PTKMR untuk dievaluasi. Hasil evaluasi uji profisiensi menunjukkan bahwa dari 21 peserta ternyata terdapat 5 laboratorium yang mendapat perbedaan  $< 5\%$  dibanding laboratorium acuan, 5 laboratorium antara 5-10 %, 6 laboratorium antara 10 – 20 %, dan yang perbedaannya  $> 20\%$  sebanyak 5 laboratorium. Hasil pengukuran LURR-PTRR sangat valid mendekati laboratorium acuan dengan selisih -0,34%. Hal ini membuktikan bahwa hasil uji yang dilakukan LURR-PTRR akurat dapat diterima semua pihak dengan mengedepankan Jaminan Mutu Hasil Pengujian.

Kata kunci: Uji profisiensi, spektrometer gama, radioaktivitas, Cs-134, ISO 17025

### ABSTRACT

**PROFICIENCY TEST FOR RADIOACTIVITY MEASUREMENTS OF Cs-134 USING GAMMA SPECTROMETER.** The Proficiency Test is an important must be carried out by testing laboratory as the basic foundation Quality Assurance of Testing Results. The terms defined in the quality standard ISO 17025 : 2008 clause 5.9 that every laboratory testing must ensure Quality Assurance Testing Results, through the participation of proficiency test. Proficiency test for radioactivity measurements of Cs-134 has been conducted using gamma spectrometer at PTKMR BATAN as the national reference laboratory in the standardization of radiation metrology. Participants of the proficiency test are 21 laboratories in BATAN. Sample which is the point source form is given by the Operator and distributed to each participating laboratory and then the radioactivity is measured. LURR - PTRR measures radioactivity using gamma spectrometer (Canberra), HPGe detector GC-1520, *type coaxial*. Before the radioactivity measurement, the first step is to determine the energy calibration curve and efficiency calibration curve of the gamma spectrometer system using combined standard sources of Cs -137 , Co- 60 , and Ba-133. The results of radioactivity measurements Cs-134 are reported to PTKMR for evaluation. The evaluation results of the proficiency tests showed that as the 21 participants, there are five laboratories which have differences as  $< 5\%$  compared to the reference laboratory, 5 laboratoriesis between 5-10 %, 10-20 % amounted to 6 laboratories, and the difference of  $> 20\%$  as many as 5 laboratories. Measurement results of LURR - PTRR is very valid approaching the reference laboratory with a difference of -0.34 %. This Proves the results of the test for LURR - PTRR accurate and can be acceptable by all parties by putting forward the Quality Assurance Testing Results.

**Keywords:** Proficiency testing , gamma spectrometry , radioactivity , Cs - 134 , ISO 17025

### PENDAHULUAN

Uji profisiensi merupakan suatu metoda untuk mengetahui kinerja laboratorium dengan cara uji banding antar laboratorium [1,2]. Uji Profisiensi

untuk mengevaluasi kinerja peserta (laboratorium) terhadap kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya melalui uji banding antar laboratorium sehingga memberikan jaminan mutu bagi laboratorium secara individu, yang memungkinkan untuk membandingkan kinerja dengan laboratorium

sejenis, dan untuk melakukan tindakan perbaikan yang diperlukan [3].

Pada ketentuan standar mutu ISO/IEC 17025, setiap laboratorium harus memiliki prosedur *quality control* untuk memantau validitas dari hasil uji dan kalibrasi yang dilakukan. Pemantauan dapat meliputi keikutsertaan pada uji banding antar laboratorium atau program uji profisiensi dan juga dapat melalui penggunaan bahan acuan yang tersertifikasi atau dengan melakukan replikasi pengukuran menggunakan metoda analisa yang sama atau berbeda. [4].

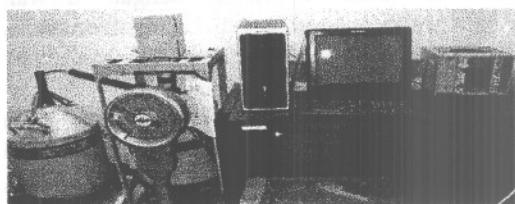
Laboratorium Uji Radioisotop dan Radiofarmaka (LURR) adalah laboratorium uji milik instansi Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) BATAN yang telah memperoleh akreditasi ISO/IEC 17025 dari KAN dengan nomer sertifikat LP-595-IDN/25 April 2012. Oleh karena itu, seluruh sistem mutu LURR harus mengacu pada aturan ISO/IEC 17025 [5]. LURR PTRR-Batan telah mengikuti Uji Profisiensi Pengukuran Radioaktivitas Cs-134 menggunakan spektrometer gama yang diselenggarakan oleh PTKMR Batan.

Spektrometer gama adalah alat pencacahan sinar gama sumber radiatif secara kualitatif maupun kuantitatif [6]. Seperangkat spektrometer gama terdiri beberapa perangkat seperti detektor gamma, rangkaian elektronika, catu daya tegangan tinggi, rangkaian MCA yang terintegrasi dan *on board* pada slot *CPU*, serta dilengkapi perangkat lunak untuk proses data [5]. Detektor gama yang digunakan pada spektrometer gama adalah detektor HPGe. Detektor HPGe akan bekerja optimal jika didinginkan pada suhu  $-196^{\circ}\text{C}$  menggunakan nitrogen cair. Jika pada pengoperasian suhu diatas  $-196^{\circ}\text{C}$ , maka mengakibatkan terjadinya arus bocor balik yang berdampak pada kurang baiknya daya pisah detektor[7].

Laboratorium Standardisasi Radionuklida PTKMR BATAN merupakan laboratorium metrologi radiasi sebagai laboratorium acuan nasional di bidang pengukuran radioaktivitas [8]. Pemastian mutu hasil pengujian merupakan hal penting sesuai ketentuan ISO 17025:2005. Untuk mewujudkan hal tersebut maka LURR pada tahun 2014 telah mengikuti kegiatan Uji Banding antar laboratorium di BATAN yang diikuti 21 laboratorium dan dikoordinir oleh Laboratorium Standardisasi PTKMR BATAN dalam pengukuran radioaktivitas Cs-134 menggunakan spektrometer gama.

Adapun peralatan spektrometer gama yang digunakan uji banding adalah spektrometer gama yang menggunakan sistem pendingin nitrogen cair. Alat tersebut sudah tua, dibeli dari perusahaan Canberra Amerika serikat pada Tahun 1998. Alat

tersebut menggunakan detektor HPGe dengan model GC-1520. Sistem pengoperasian menggunakan software Genie 2000. Spektrometer gama tersebut seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Spektrometer gama berpendingin nitrogen cair

Tujuan uji banding ini agar dapat mengukur kinerja laboratorium dalam pengukuran radioaktivitas Cs-134 menggunakan alat spektrometer gama dan dapat diketahui seberapa besar perbedaan hasil pengukurannya dibandingkan dengan hasil pengukuran laboratorium Standardisasi PTKMR selaku laboratorium acuan nasional dalam standardisasi metrologi radiasi.

## METODE

### Bahan :

Bahan utama yang digunakan dalam kegiatan ini adalah Sumber standar Ba-133, Cs-137, Co-60 yang telah dikalibrasi PTKMR, sampel Cs-134 dari PTKMR untuk uji banding yang akan diukur radioaktivitasnya.

### Peralatan:

Seperangkat instrumen spektrometer gama menggunakan detektor HPGe dengan model GC-1520, tegangan tinggi (*High Voltage*) model 3125, amplifier model 2026, dan dilengkapi *multi channel analyzer (MCA)*. Sistem perhitungan menggunakan software Genie 2000.

### Persiapan Alat:

Dipastikan semua tegangan listrik sesuai dengan yang direkomendasikan alat (220 VAC). Dipastikan detektor terendam nitrogen cair dalam dewar minimal 12 jam dan ketika dihidupkan power HV maka dipastikan indikator lampu menyala hijau dan jika tidak hijau berarti alat belum siap dipakai dan dewar perlu diisi nitrogen cair.

### Pembuatan *control chart* spektrometer gama:

*Control chart* dibuat dengan pengukuran aktivitas sumber standar Cs-137 menggunakan spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan 30 kali setiap bulan dan dilakukan selama 3 bulan. Aktivitas hasil pengukuran dihitung peluruhannya berdasarkan basis tanggal tertentu. Hasil pengukuran

diolah datanya menggunakan excell hingga diperoleh *control chart* dari instrumen.

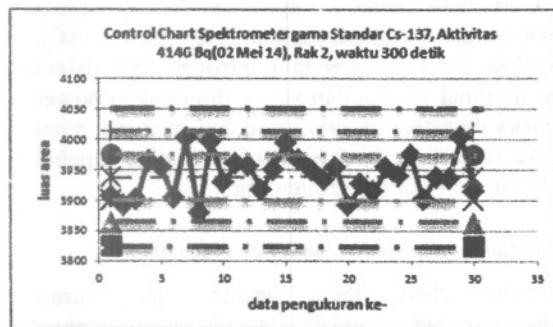
#### Pengukuran Radioaktivitas Sampel Cs-134

Pengukuran radioaktivitas menggunakan spektrometer gama dilakukan dengan diawali melakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi. Kalibrasi energi dilakukan dengan cara mengukur sumber standar gabungan yaitu Ba-133, Cs-137, Co-60. Selanjutnya dibuat kurva kalibrasi energi, yaitu kurva hubungan antara energi dan nomer channel yang diperoleh dari hasil pengukuran. Setelah itu, dibuat kurva kalibrasi efisiensi, yaitu kurva hubungan antara energi dan efisiensi. Efisiensi diperoleh dari perhitungan pengolahan data pengukuran. Setelah diperoleh kurva kalibrasi efisiensi, selanjutnya dilakukan pengukuran sampel Cs-134. Hasil pengukuran diinterpolasikan ke kurva kalibrasi efisiensi maka dapat dihitung radioaktivitas sampel Cs-137. Nilai radioaktivitas sampel yang dihasilkan, dilaporkan ke penyelenggara uji profisiensi (laboratorium standardisasi PTKMR) untuk dievaluasi.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji profisiensi dalam pengukuran radioaktivitas Cs-134 ini diselenggarakan pada tahun 2014 oleh Laboratorium Standardisasi PTKMR yang merupakan laboratorium acuan nasional dalam bidang metrologi radiasi. Uji profisiensi ini diikuti oleh 21 peserta laboratorium dan pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer gama dengan menggunakan sumber standar Ba-133, Cs-137, dan Co-60.

Untuk memastikan alat ukur yang digunakan dalam kondisi baik, maka secara berkala dibuat *control chart* alat spektrometer gama dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. *Control Chart* Spektrometer gama

Dari Gambar 2 ditunjukkan hasil control chart spektrometer gama milik LURR-PTRR pada tahun 2014. *Control chart* ini sangat bermanfaat untuk

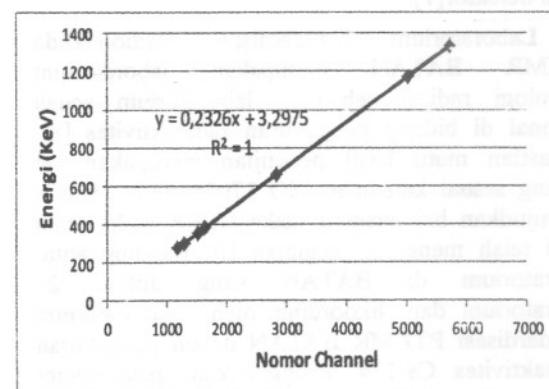
melihat kinerja alat, terutama dalam hal kepresisan pengukuran. Adapun garis merah pada grafik menunjukkan garis batas atas dan bawah untuk nilai rerata  $\pm$  3SD, garis kuning menunjukkan garis batas atas dan bawah untuk nilai rerata  $\pm$  2SD, dan garis hijau menunjukkan garis batas atas dan bawah untuk nilai rerata  $\pm$  1SD. Dari *control chart* tersebut ditunjukkan bahwa hasil pengukuran sumber standar Cs-137 ternyata distribusi hasil pengukuran mayoritas berada pada daerah nilai rerata  $\pm$  1SD dan sebagian kecil pada  $\pm$  2SD, serta tidak ada pada  $\pm$  3SD. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja alat spektrometer gama dalam kondisi baik.

Pengukuran kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar gabungan yaitu radionuklida Ba-133, Cs-137, dan Co-60. Adapun data hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Hasil Kalibrasi Energi Spektrometer gama

No	Sumber Standar	Nomer Channel	Energy (KeV)
1	Ba-133	1173	276,1
2	Ba-133	1287	302,6
3	Ba-133	1515	355,6
4	Ba-133	1634	383,3
5	Cs-137	2829	661
6	Co-60	5028	1173,2
7	Co-60	5716	1332,1

Dari tabel 1 ditunjukkan bahwa dengan menggunakan gabungan sumber standar Ba-133, Cs-137, dan Co-60 maka dapat diperoleh beberapa tingkat energi dari yang rendah (276,1 KeV) sampai yang tinggi (1332,1 KeV). Selanjutnya, masing-masing energi diamati nomer channelnya, lalu dibuat kurva kalibrasi energi dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini:

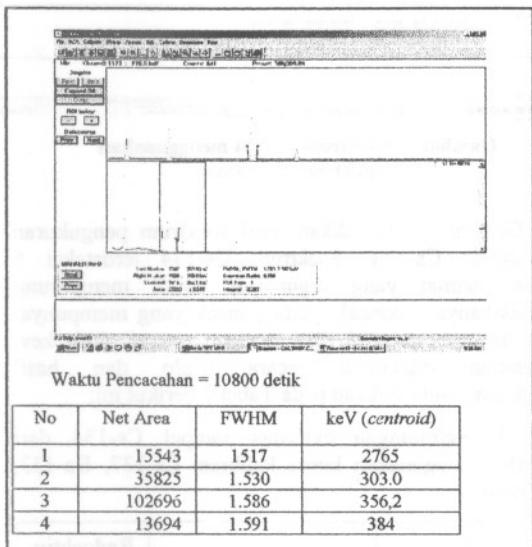


Gambar 3. Kurva Kalibrasi Energi spektrometr gama PTRR tahun 2014

Dari Gambar 3 ditunjukkan bahwa kurva kalibrasi energi yang dihasilkan dari interpolasi hubungan antara energi dan nomer channel ternyata garis linier dengan persamaan  $Y=0,2326 X + 3,2975$  dengan  $R^2=1$ . Hal ini menunjukkan bahwa hubungan

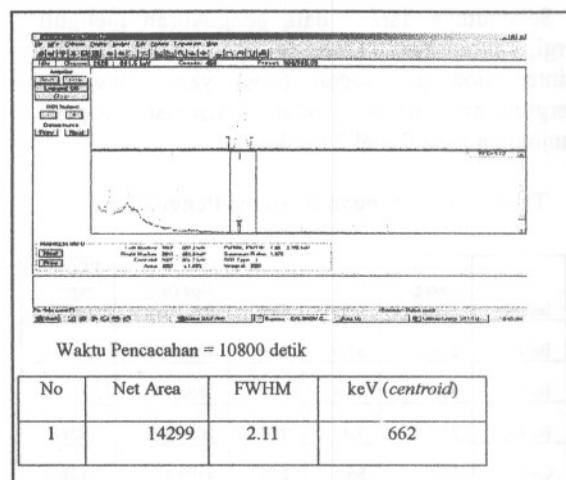
keduanya sangat linier, dan ini sangat baik dalam identifikasi kualitatif penentuan jenis radionuklida.

Selanjutnya, dilakukan pengukuran sumber standar Ba-133, Cs-137, dan Co-60 untuk pembuatan kurva kalibrasi efisiensi. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4,5, dan 6 berikut ini:



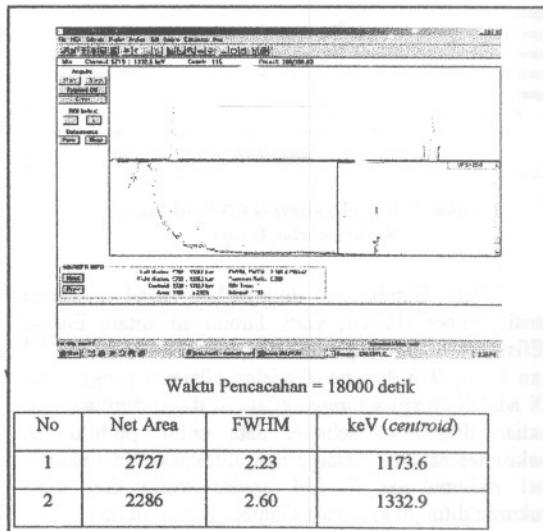
Gambar 4. Spektrum Ba-133 menggunakan spektrometer gamma

Pada Gambar 4. ditunjukkan spektrum Ba-133 yang diukur menggunakan spektrometer gama ternyata terdeteksi empat puncak dengan tingkat energi yang berbeda dengan rentang energi yang sempit. Hal ini yang menyebabkan sumber standar Ba-133 tidak dapat dijadikan sumber standar tunggal untuk kalibrasi efisiensi, tapi harus dikombinasikan dengan sumber standar yang lain yaitu biasanya Cs-137 dan Co-60. Pada pengukuran Ba-133, puncak spektra yang terdeteksi ada 4, yaitu pada energi 276,5; 303; 356,2, dan 384 keV. Selanjutnya dilakukan pengukuran radionuklida Cs-137 dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini:



Gambar 5. Spektrum Cs-137 menggunakan spektrometer gamma

Pada Gambar 5. ditunjukkan spektrum Cs-137 yang diukur menggunakan spektrometer gama ternyata terdeteksi puncak tunggal dengan tingkat energi 662 keV. Oleh karena itu, sumber standar Cs-137 tidak dapat dijadikan sumber standar tunggal untuk kalibrasi efisiensi, tetapi harus dikombinasikan dengan sumber standar yang lain biasanya Ba-133 dan Co-60. Selanjutnya diukur radionuklida Co-60 dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Spektrum Co-60 menggunakan spektrometer gama

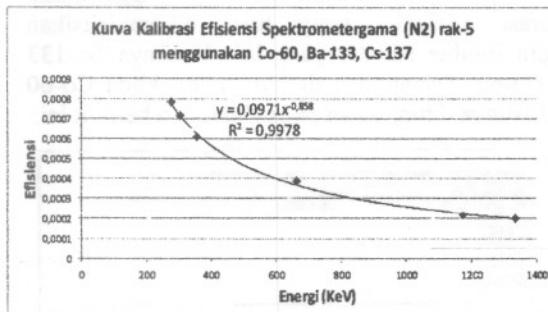
Pada Gambar 6. ditunjukkan spektra Co-60 yang diukur menggunakan spektrometer gama ternyata terdeteksi hanya dua puncak yaitu dengan tingkat energi 1173.6 dan 1332.9 keV. Oleh karena itu, sumber standar Ba-133 tidak dapat dijadikan sumber standar tunggal untuk kalibrasi efisiensi, tapi harus dikombinasikan dengan sumber standar yang lain biasanya Ba-133 dan Cs-137.

Selanjutnya data - data pengukuran meliputi energi, Intensitas, Cacahan per detik (Cps), Disintegration per secon (dps) yang diperoleh dipergunakan untuk nilai efisiensi seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Perhitungan Efisiensi Pengukuran

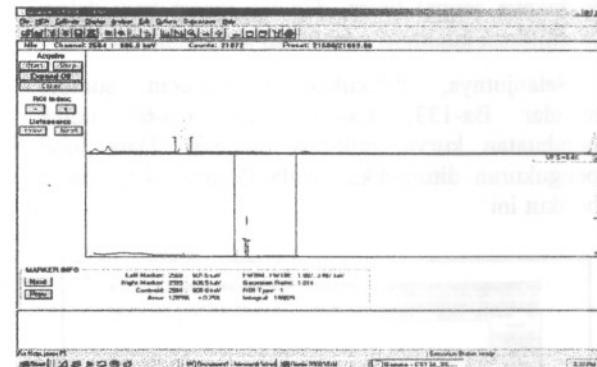
No	Isotop	Energi (KeV)	I (%)	Cps	Dps (Bq) 1-Okt1-4	Efisiensi =cps/ (dps*I)
1	Ba-133	276,5	61,9	1,44	26360,42	3,16E-4
2	Ba-133	303	18,4	3,32	26360,42	2,47E-3
3	Ba-133	356,2	7,3	9,51	26360,42	1,82E-2
4	Cs-137	662	86	1,37	4108,45	1,12E-3
5	Co-60	1173,6	99,9	0,20	1239,12	6,12E-4
6	Co-60	1332,9	100	0,19	1239,12	5,12E-4

Dari data-data pada tabel 2 di atas maka dapat dibuat kurva kalibrasi Efisiensi, yaitu hubungan antara energi dan efisiensi seperti ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Kurva kalibrasi Efisiensi Energi Spektrometer Gama

Dari Gambar 7 ditunjukkan hasil kalibrasi efisiensi sumber standar, yaitu hubungan antara Energi dan Efisiensi diperoleh persamaan power  $Y=0,0971X^{-0,858}$  dengan  $R^2=0,9978$  dimana Y adalah efisiensi pengukuran dan X adalah energi sehingga efisiensi dapat dihitung dan kemudian digunakan sebagai data untuk perhitungan radioaktivitas sampel. Selanjutnya, dilakukan pengukuran sampel radionuklida Cs-134 secara triplo dan hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Spektrum Cs-134 menggunakan spektrometer gama

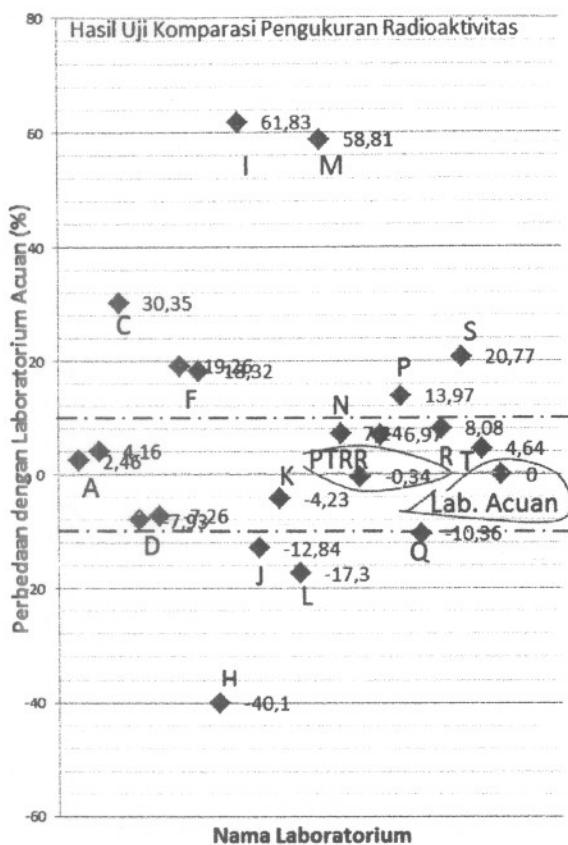
Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil spektrum pengukuran radionuklida Cs-134. Spektrum Cs-134 terdeteksi 5 puncak, namun yang digunakan untuk menghitung aktivitas hanya 1 puncak, yaitu puncak yang mempunyai intensitas terbesar (98,1%) dengan energi 605 kev. Pengukuran dilakukan secara triplo dan hasil selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Perhitungan aktivitas sampel Cs-134 dari PTKMR menggunakan kurva kalibrasi Cs-137, Ba-133, dan Co-60

Net area sampel /waktu count (Cps)	Energi (KeV)	Intensitas	Efisiensi =0,0971*(energi)^-0,858	Radioaktivitas Sampel (2-Sep-2014) =Cps/intensitas/efi
8,2586	605,1	0,981	0,000366	23001,5
8,2653	605,1	0,981	0,000366	23020,5
8,2679	605,1	0,981	0,000366	23027,3
Aktivitas Cs-134 rerata (2 Sep 2014)				23016,3±4,81 Bq

Dari tabel 3 di atas diketahui bahwa radioaktivitas sampel Cs-134 rerata hasil pengukuran LURR-PTRR menggunakan sumber standar Cs-137, Ba-133, dan Co-60 diperoleh hasil=23016,3±4,81 Bq (2 September 2014). Selanjutnya hasil tersebut dilaporkan ke Laboratorium Standarisasi PTKMR selaku penyelenggara Uji Profisiensi.

Setelah semua hasil pengukuran laboratorium peserta uji profisiensi terkumpul, maka laboratorium standardisasi PTKMR melakukan evaluasi untuk dibandingkan hasil masing-masing laboratorium dibandingkan dengan hasil laboratorium standardisasi PTKMR yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Evaluasi hasil uji profisiensi pengukuran radioaktivitas yang dikoordinasi PTKMR

Pada Gambar 9 ditunjukkan bahwa kegiatan uji profisiensi pengukuran radioaktivitas Cs-134 yang dikoordinasi PTKMR pada tahun 2014 diikuti oleh 21 peserta berbagai laboratorium di BATAN. Pada gambar diatas sengaja tidak ditampilkan nama laboratoriumnya, kecuali hanya laboratorium kani (LURR PTRR). Garis hijau di tengah, merupakan nilai aktivitas acuan, garis merahatas dan bawah merupakan batas atas dan bawah dengan penyimpangan 10%. Hasil pengukuran uji profisiensi menunjukkan bahwa terdapat 5 laboratorium yang mendapat perbedaan < 5% dibanding laboratorium acuan, 5 laboratorium antara 5-10 %, 6 laboratorium antara 10 – 20 %, dan yang perbedaannya > 20 % sebanyak 5 laboratorium. LURR PTRR pada uji profisiensi memperoleh hasil pengukuran yang baik, sangat mendekati hasil pengukuran laboratorium acuan, yaitu dengan perbedaan -0,34%. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran radioaktivitas yang dilakukan oleh PTRR selaku laboratorium uji radioisotop dan radiofarmaka cukup valid. Hal ini memperkuat Jaminan Mutu Hasil Pengujian (JMHP) hasil pengujian LURR PTRR.

## KESIMPULAN

Uji profisiensi pengukuran radioaktivitas yang diselenggarakan oleh Laboratorium Standardisasi PTKMR selaku laboratorium acuan metrologi radiasi dapat menggambarkan kinerja dari laboratorium peserta dalam pengujian radioaktivitas. Hasil uji profisiensi menunjukkan bahwa dari 21 peserta ternyata terdapat 5 laboratorium yang mendapat perbedaan < 5% dibanding laboratorium acuan, 5 laboratorium antara 5-10 %, 6 laboratorium antara 10 – 20 %, dan yang perbedaannya > 20 % sebanyak 5 laboratorium. Hasil pengukuran LURR PTRR sangat valid mendekati laboratorium acuan dengan selisih -0,34%.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini kami ucapan terimakasih kepada Ibu Siti Darwati selaku Manager Puncak Laboratorium Uji Radioisotop dan Radiopfarmaka dan Bapak Gatot Wuryanto (PTKMR) selaku penyelenggara interkomparasi yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk mengikuti interkomparasi antar laboratorium di BATAN dalam pengukuran radioaktivitas menggunakan spektrometer gama.

## DAFTAR PUSTAKA

1. A.IWAHARA, L. TAUHATA, A. E. OLIVEIRA I. G. NICOLI, F. G. ALABARSE, A. M. XAVIER, M. L. OLIVEIRA, M. F. KOSKINAS, M. C. M. ALMEIDA, Proficiency test for radioactivity measurements in nuclear medicine, *J Radioanal Nucl Chem* (2009) 281:3–6 DOI 10.1007/s10967-009-0091-x
2. IAEA, almera proficiency test: determination of natural and artificial radionuclides in soil and water, *IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications No. IAEA/AQ/32*, Austria, 2013
3. DYAH STYARINI, Uji Profisiensi Laboratorium, <http://kimia.lipi.go.id/wpcontent/uploads/2010/05/uj-ji-profisiensi-laboratorium-dyah-styarini-rev.pdf> diakses tanggal 4 Juli 2016.
4. Badan Standardisasi Nasional, Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi, SNI ISI/IEC 17025-2008.
5. MASKUR, ADANG H.G., ENDANG SARMINI, YAYAN TAHYAN, DAN DEDE KURNIASIH, Uji Banding Antar Laboratorium Dalam Pengukuran Radioaktivitas Menggunakan

- Spektrometer Gama, Prosiding Seminar Nasional IX SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 31 Oktober 2013 ISSN 1978-0176
6. DAYA AGUNG SARWONO, ENDANG SARMINI DAN WITARTI, Evaluasi Kinerja Spektrometer Gamma Yang Menggunakan Nitrogen Cair Sebagai Pendingin Detektor, Prosiding Seminar Nasional Kimia Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Negeri Surabaya 2015
  7. NOVIARTY, DIAN ANGGRAINI, ROSIKA, DARMA ADIANTORO, Pengukuran Keaktifan Radioisotop Cs-137 Menggunakan Spektrometer Gamma, Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 2009.
  8. GATOT WURDIYANTO, HERMAWAN CANDRA DAN PUJADI, Standardisasi F-18 Menggunakan Metode Spektrometri Gamma, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 3 Juni 2009.