

UJI BANDING SISTEM SPEKTROMETER GAMMA DENGAN METODA ANALISIS SUMBER Eu-152

Nugraha Luhur, Kadarusmanto, Subiharto

Abstrak

UJI BANDING SPEKTROMETER GAMMA DENGAN METODA ANALISIS SUMBER Eu-152. Telah dilakukan uji banding sistem spektrometer gamma dengan metode pengukuran aktivitas sumber Europium-152 (Eu-152). Spektrometer gamma di Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) berfungsi untuk melakukan analisis unsur radioaktif yang diperlukan dan terkait dengan data-data keselamatan radiasi. Data-data keselamatan tersebut antara lain data analisis unsur radioaktif pada air pendingin primer, limbah cair, resin dan filter-filter sampel. Untuk mengetahui ketelitian dan kecermatan pengukuran menggunakan spektrometer gamma maka dilakukan uji banding. Uji banding dilakukan dengan mengukur sumber Eu-152 dan hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil sertifikasi pengukuran aktivitas sumber yang dilakukan oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR). Dengan uji banding tersebut dapat diketahui keandalan sistem spektrometer sehingga dapat dipergunakan sebagai dasar evaluasi terhadap pelaksanaan pengukuran dan analisis. Berdasarkan data hasil uji banding, sistem spektrometer di laboratorium spektrometri gamma PRSG masih mempunyai ketelitian yang baik. Diperoleh hasil pengukuran aktivitas sumber Eu-152 sebesar $34.614,88 \pm 231,96$ Bq dengan perbedaan sebesar 0.93 % dibandingkan dengan hasil pengukuran dari laboratorium standarisasi sumber standar PTKMR sebesar $34.936,80 \pm 243,56$ Bq.

Abstract

THE COMPARISON TEST OF GAMMA SPECTROMETER USING ANALYSIS METHOD OF Eu-152 SOURCE. The comparison test of gamma spectrometer system by measuring activity of Europium-152 (Eu-152) source has been done. The function of gamma spectrometer at Center for Multipurpose Research Reactor (PRSG) is to analysis of radioactive nuclide required and related to radiation safety data. Those safety data are data of radioactive elements in primary cooling water system, liquid waste, resin and sample filters. The comparison test is done to know accuracy and correctness of gamma spectrometer measurement at which conducted by measuring Eu-152 source and the result is then compared to the certification result activity source measurement implemented by the Center for Safety Technology and Radiation Metrology (PTKMR). The comparison test will show the reliability of spectrometer system and it can be used as reference to do measurement and to do analysis. Based on data of comparison test result it can be concluded that spectrometer system at the gamma spectrometry laboratory PRSG is still having good accuracy. The achieved result of measuring activity on Eu-152 source is $34614,88 \pm 231,96$ Bq with 0.93 % deviation compared to the measuring result from standardization laboratory of standard source PTKMR of $34.936,80 \pm 243,56$ Bq.

PENDAHULUAN

Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG) mempunyai spektrometer gamma yang pengoperasiannya menjadi tanggung jawab subbidang Pengendalian Daerah Kerja (PDK). Alat tersebut terletak di laboratorium spektrometri gamma Bidang Keselematan dan dipergunakan untuk menunjang analisis data-data keselamatan radiasi PRSG.

Spektrometer gamma digunakan untuk melakukan analisis zat radioaktif yang memancarkan radiasi gamma. Setiap radionuklida mempunyai tenaga yang tertentu dan bersifat spesifik. Hal ini digunakan sebagai dasar dalam analisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis atau pengukuran aktivitas zat radioaktif menggunakan spektrometer gamma bersifat relatif sehingga sistem spektrometer harus dilakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar yang telah diketahui unsur dan aktivitasnya. Kalibrasi energi dipergunakan untuk analisis kualitatif yaitu untuk mengetahui unsur zat radioaktif, sedangkan kalibrasi efisiensi dipergunakan untuk kalibrasi kuantitatif yaitu untuk mengetahui aktivitas zat radioaktif. Pengukuran dan analisis zat radioaktif yang dilakukan harus pada kondisi kerja spektrometer yang sama antara lain tegangan tinggi detektor, *coarse gain*, *fine gain*, *pulse shaping* dan lain-lain. Demikian juga dengan demensi unsur yang akan dilakukan analisis harus mempunyai demensi yang sama dengan sumber standar yang dipergunakan untuk kalibrasi. Untuk mengetahui keandalan dari sistem spektroskopi.

Analisis unsur radioaktif yang secara rutin dilakukan oleh subbidang PDK adalah analisis kandungan zat radioaktif pada air pendingin primer, analisis limbah cair, analisis limbah semi cair (resin), analisis sampling udara dan analisis cuplikan-cuplikan lain yang dilakukan secara temporer. Untuk mengetahui ketelitian dan kecermatan spektrometer dalam

pengukuran selain dilakukan kalibrasi, dilakukan pula uji banding. Uji banding diikuti oleh 10 (sepuluh) laboratorium spektrometri gamma di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batn) dan di koordinasi oleh Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR). Dari hasil uji banding dapat diketahui keandalan dari sistem spektrometer yang dimiliki PRSG. Hasil uji banding dapat dipergunakan sebagai dasar evaluasi terhadap pelaksanaan pengukuran dan analisis yang telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem spektroskopi PRSG.

TEORI

Spektrometer Gamma

Spektrometer gamma adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melakukan analisis zat radioaktif yang memancarkan radiasi gamma. Setiap radionuklida mempunyai tenaga tertentu dan bersifat spesifik. Hal ini digunakan sebagai dasar dalam analisis secara kualitatif. Analisis secara kuantitatif dilakukan berdasarkan nilai cacahan dari spektrum yang dipancarkan. Sebelum digunakan dalam pengukuran, terlebih dahulu sistem spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar untuk menentukan hubungan antara nomor salur dan energi gamma (keV). Agar dapat mengidentifikasi isotop radioaktif, spektrometer gamma dilengkapi dengan suatu perangkat lunak untuk kalibrasi dan mencocokkan puncak-puncak energi foton (*photopeak*) dengan suatu pustaka data nuklir.

Spektrometer terdiri dari detektor radiasi gamma, rangkaian elektronik penunjang, dan sebuah *interface* yang disebut *Multi Channel Analyzer (MCA)*. Saat ini rangkaian elektronika, catu daya tegangan tinggi dan rangkaian MCA kini telah dibuat secara terintegrasi pada *onboard* slot komputer. Dengan perangkat lunak khusus (*software Maestro 3.2*), pada

sperangkat komputer dapat berfungsi sebagai MCA dengan kemampuan pengolahan dan analisis yang lebih baik.



Gambar 1. Sistem Spektrometer Gamma PRSG

Kalibrasi energi

Dalam spektrometer gamma puncak-puncak spektrum pada nomor salur (*No Channel*) sistem spektrometer sebanding dengan energi sinar gamma. Oleh karena itu perlu dicari hubungan antara nomor salur dan energi sinar gamma yang biasa di sebut dengan kalibrasi energi. Hal ini dilakukan dengan jalan melakukan pengukuran (pencacahan) sumber radioaktif standar dengan beberapa sumber energi dari tingkat energi rendah sampai dengan tingkat energi yang tinggi agar kalibrasi energi yang dilakukan mempunyai jangkauan energi yang cukup lebar. Apabila hubungan antara energi dan nomor salur dituangkan dalam grafik maka akan diperoleh gambar garis lurus. Hubungan linier tersebut dinyatakan secara matematis

dalam persamaan garis lurus yang mempunyai bentuk umum:

$$Y = aX + b \quad (1)$$

dengan:

Y = energi radiasi gamma (keV)

X = Nomor salur spektrometer

Prinsip Analisis Kualitatif

Kalibrasi energi diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif spektrometri gamma. Setelah kalibrasi energi dilakukan maka sistem spektrometer dapat dipergunakan untuk melakukan pengukuran suatu cuplikan. Energi gamma yang dipancarkan oleh suatu radionuklida adalah salah satu sifat karakteristik dari

radionuklida tersebut. Sifat-sifat karakteristik dari berbagai radionuklida dapat dilihat dalam tabel Isotop yang berisi energi sinar gamma, waktu paroh dan intensitas. Puncak-puncak spektrum pada cuplikan dapat diketahui menggunakan persamaan matematis pada kalibrasi energi. Sehingga kandungan unsur radioaktif pada cuplikan dapat ditentukan.

Kalibrasi Effisiensi

Effisiensi deteksi adalah ukuran hubungan antara pencacahan yang di hasilkan detektor dengan aktivitas zat radioaktif. Nilai suatu pencacahan belum mencerminkan aktivitas yang sebenarnya dari suatu zat radioaktif. Suatu zat radioaktif selalu memancarkan sinar radioaktif ke segala arah (4π). Pengukuran cuplikan zat radioaktif dilakukan pada jarak tertentu dari detektor, sehingga sebenarnya hanya sebagian dari sinar radiasi gamma yang dipancarkan yang terdeteksi oleh detektor. Dalam pengukuran zat radioaktif secara spektrometri dimana pengukuran hanya ditujukan pada salah satu energi dari sekian banyak energi dan mode peluruhan yang ada dalam cuplikan, maka besarnya effisiensi deteksi juga merupakan fungsi tenaga dan dapat dituliskan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{c \text{ ps}}{A_{(i)} \cdot I_{\gamma}} \dots\dots\dots(2)$$

- dengan:
- ϵ = Effisiensi deteksi (%)
- cps = Jumlah cacahan per satuan waktu (cps)
- A = Aktivitas sumber standar (Bq)
- I_{γ} = Intensitas gamma / yield (%)

Analisis kuantitatif dalam spektrometri gamma membutuhkan

kalibrasi effisiensi. Apabila dilakukan pengukuran effisiensi dari tenaga rendah sampai tenaga yang tinggi menggunakan sumber standar maka dapat dibuat grafik effisiensi fungsi energi. Nilai effisiensi deteksi suatu pengukuran ditentukan oleh berbagai faktor yaitu jarak cuplikan dengan detektor, demensi zat radioaktif, volume detektor dan daya pisah detektor.

Prinsip Analisis Kuantatif

Setelah diperoleh grafik kalibrasi energi dan kalibrasi effisiensi, maka pengukuran cuplikan dapat dilakukan dengan menggunakan kondisi kerja yang tepat sama dengan kondisis kalibrasi. Kondisi-kondisi tersebut antara lain adalah jarak sumber dengan detektor, tegangan kerja detektor, *coarse gain*, *fine gain* dan lain-lain. Dengan demikian analisis kuantitatif menggunakan spektrometer gamma dapat diandalkan.

Pengukuran aktivitas zat radioaktif selain menggunakan kalibrasi effisiensi dapat pula dilakukan dengan menggunakan prinsip perbandingan puncak spektrum sumber standar dengan puncak spektrum sumber radioaktif. Cara ini dapat berlaku jika sumber cuplikan telah diketahui jenis unsur zat radioaktifnya dan demensi sumber standar zat radioaktif. Dengan kondisi kerja yang sama, jenis unsur dan demensi zat radioaktif sama maka aktivitas zat radioaktif dapat ditentukan. Perhitungan aktivitas zat radioaktif dapat ditentukan menggunakan persamaan 2 menjadi:

$$A_{(i)} = \frac{c \text{ ps}}{\epsilon \cdot I_{\gamma}}$$

Spektrometer gamma mempunyai batas kemampuan pengukuran pada laju cacah yang rendah. Untuk itu perlu diketahui batas kemampuan pengukuran suatu detektor atau berapa deteksi minimum yang bisa dicapai oleh detektor nuklir. Harga minimum kemampuan mendeteksi

suatu detektor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$MDA = k^2 + 2CDL = 2,71 + 4,653 \sigma_B^2$$

...(3)

dengan:

k = konstanta dengan nilai tertentu (k=1,645 untuk selang kepercayaan 95%)

CDL = critical detection limit adalah batas deteksi kritis yang nilainya sama dengan 2,326 σ_B

σ_B = merupakan standar deviasi dari pencacahan background tanpa menggunakan sampel radioaktif

BAHAN DAN PERALATAN

1. Sistem Spektrometer gamma PRSG dengan detektor HP Ge dengan spesifikasi sebagai berikut ³⁾:

Tabel 1. Spesifikasi Detektor PRSG

1.	Merk	Canbera
2.	Model	GC 0918
3.	Cryostat	7500 SL
4.	No, Seri	05057508
5.	Pre Amplifier	2002 CSL
6.	Jenis	HP Ge
7.	Type	Coaxial
8.	Diameter	76 mm

9.	Efficiency	9 %
10.	Resolusi	1.8 Kev
11.	Jarak detektor dengan sumber	20 mm

2. Seperangkat PC dengan Software MCA MAESTRO 3.2
3. Sumber Standar Europium-152 (Eu-152) milik PRSG 4) ditunjukkan pada Tabel 3
4. Sumber Eu-152 milik PTKMR NO KODE 15217 – 2012
5. Sistem Spektrometer gamma PTKMR dengan detektor HP Ge dengan spesifikasi sebagai berikut

Tabel 2. Spesifikasi Detektor PTKMR

1.	Merk	ORTEC
2.	Model	GEM60-83-XLB-C-SMP
3.	Jenis	HP Ge
4.	Type	Coaxial
5.	Diameter	76 mm
6.	Efficiency	63 %
7.	Resolusi	1.86 Kev

Tabel 3. Data-data Sumber Standar Eu-152 PRSG

SERTIFIKAT STANDARDISASI RADIONUKLIDA	
No. 004/S/PI 0301/RBN/2006	
Pemilik Radionuklida	: PRSG - BATAN
Alamat Pemilik	: Puspiptek – Serpong
Nama Radionuklida	: ¹⁵² Eu
No Kode	: 15202/06
Bentuk	: Titik
Aktivitas	: 1,080 μCi
Ketidakpastian	: 5%
Waktu Paro	: 13,33 ± 0,04 tahun
Metode Standardisasi	: Pengukuran relatif dengan menggunakan perangkat Spektrometer γ.
Tanggal Standardisasi	: 12 - 20 Juni 2006

METODA ANALISIS

1. PTKMR membuat 10 buah sumber radioaktif Eu-152 dengan demensi sama dan dilakukan sertifikasi kemudian diberi nomor Kode. Setiap sumber radioaktif mempunyai nilai aktivitas yang berbeda-beda.
2. Sumber standar yang telah diberi kode di distribusikan ke satuan kerja yang mempunyai sistem spektrometer di lingkungan Batan untuk dilakukan pengukuran aktivitasnya. PRSG menerima sumber standar Eu-152 dengan nomor kode 15217 – 2012
3. Mengoperasikan sistem spektrometer dengan kondisi kerja yang optimum.
4. Dilakukan pengukuran *background* untuk menghitung limit deteksi menggunakan persamaan:
 $MDA = k^2 + 2,CDL$ dengan $K = 1.645$ untuk selang kepercayaan 95%
 CDL (*critical detection limit*) = $2,326 \cdot \delta_b$
5. Dilakukan kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar Eu-152 PRSG.

Kalibrasi efisiensi dihitung menggunakan persamaan:

$$\epsilon = \frac{c ps}{A_{(i)} \cdot I_{\gamma}}$$

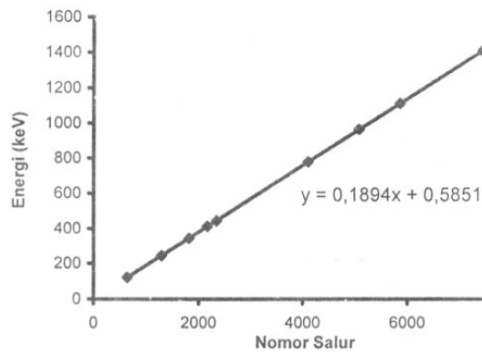
6. Dilakukan pencacahan sumber Eu-152 nomor kode 15217 – 2012 milik PTKMR selama 7200 detik sebanyak 10 kali
7. Dihitung aktivitas sumber relatif Sumber Eu-152 milik PTKMR menggunakan persamaan

$$A_{(i)} = \frac{c ps}{\epsilon \cdot I_{\gamma}}$$

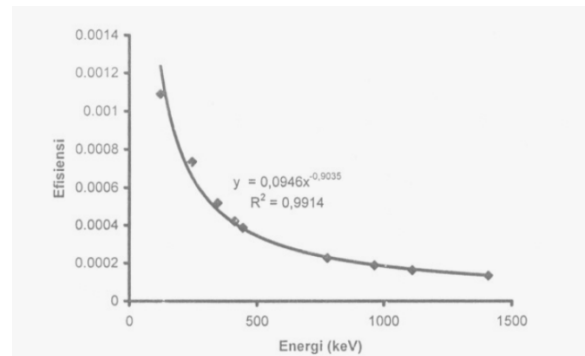
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pencacahan *background* diperoleh rerata sebesar 0.0013 cps dan dilakukan perhitungan Limit Deteksi menggunakan persamaan 3 diperoleh limit deteksi sebesar 2,72 cps untuk selang kepercayaan 95%.

Kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi dipergunakan sumber standar Eu-152 milik PRSG dan diperoleh grafik kalibrasi sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Kalibrasi Energi



Gambar 3. Grafik Kalibrasi Efisiensi

Pengukuran aktivitas sumber Eu-152 dalam uji banding dilakukan dengan menggunakan grafik kalibrasi efisiensi. Hasil pengukuran aktivitas sumber Eu-152 milik PTKMR ditunjukkan pada Tabel 4 di bawah ini

Tabel 4, Daftar aktivitas sumber Eu-152 masing-masing energy⁵⁾

No	Energi (keV)	Yield (%)	Effisiensi	Aktivitas (Bq)
1.	121.8	28.40	0,0058 ± 0,000028	39.136,32 ± 117,20
2.	244.70	7.51	0,0034 ± 0,000016	37.904,47 ± 250,91
3.	344.28	26.6	0,0022 ± 0,000014	34.945,13 ± 562,87
4.	411.12	2.23	0,0018 ± 0,000071	34.519,74 ± 1.655,67
5.	444.00	3.12	0,0016 ± 0,000016	34.930,75 ± 453,95
6.	778.91	12.96	0,0009 ± 0,000010	35.617,27 ± 595,01
7.	867.39	4.21	0,0008 ± 0,000009	46.812,20 ± 1.021,44
8.	964.13	14.50	0,0007 ± 0,000004	34.628,43 ± 346,64
9.	1085.91	10.16	0,0007 ± 0,000006	32.569,75 ± 2.915,34
10.	1112.12	13.56	0,0006 ± 0,000004	34.494,92 ± 192,21
11.	1212.95	1.40	0,0005 ± 0,000042	34.395,87 ± 2.069,79
12.	1299.12	1.63	0,0005 ± 0,000038	33.679,94 ± 2.216,26
13.	1408.0	20.85	0,0005 ± 0,000002	34.614,88 ± 231,96

Aktivitas sumber Eu-152 (Bq)	36.019,21 ± 971,48
Aktivitas sumber Eu-152 (μCi)	0,973 ± 0,026

Dari uji banding yang dilakukan diperoleh 10 data hasil analisis aktivitas sumber Eu-152 dari 10 sistem spektrometer di laboratorium spektrometri gamma yang berbeda. Data hasil perhitungan aktivitas dari masing-masing laboratorium spektrometri gamma tidak dapat saling dibandingkan karena mempunyai aktivitas dan kondisi kerja sistem yang berbeda. Hasil pengukuran aktivitas zat radioaktif Eu-152 nomor kode 15217 – 2012 yang dilakukan di laboratorium spektrometri gamma PRSG diperoleh aktivitas sebesar $34.614,88 \pm 231,96$ Bq pada energi 1408.0 keV. Dipilihnya penentuan aktivitas pada energi 1408.0 keV karena spektrum pada daerah energi yang tinggi diharapkan tidak ada gangguan spektrum-spektrum yang lain seperti puncak *Compton* atau spektrum energi lain yang cukup dekat.

Selain hal tersebut pada energi sebesar 1408.0 keV mempunyai intensitas mutlak radiasi gamma (*yield*) yang cukup besar yaitu sebesar 20.85 %. Nilai aktivitas sumber Eu-152 yang diperoleh jika dibandingkan dengan hasil pengukuran aktivitas yang dilakukan oleh PTKMR untuk sertifikasi mempunyai perbedaan sebesar 0.93 %⁴⁾. Sistem spektrometer di laboratorium PTKMR mempunyai ketidakpastian pengukuran sebesar 5 %⁴⁾.

Perhitungan aktivitas sumber Eu-152 selain dihitung berdasarkan pada energi 1408.0 keV juga dihitung rerata pada seluruh energi sumber Eu-152. Hal ini dilakukan karena analisis kuantitatif yang dilakukan, dihitung menggunakan grafik kalibrasi efisiensi dan kalibrasi efisiensi merupakan fungsi energi sinar gamma sehingga perhitungan aktivitas dilakukan pada seluruh puncak energi sumber Eu-152 kemudian dilakukan perhitungan rerata dan diperoleh aktivitas sebesar $36.019,21 \pm$

971,48 Bq seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Jika hasil pengukuran rerata aktivitas yang diperoleh dibandingkan dengan hasil pengukuran yang dilakukan oleh PTKMR untuk sertifikasi mempunyai perbedaan sebesar 3 %.

Berdasarkan hasil uji banding tersebut maka dapat dikatakan bahwa sistem spektrometer di laboratorium spektrometri gamma PRSG masih mempunyai ketelitian yang baik karena mempunyai perbedaan dibawah 5 %⁴⁾.

KESIMPULAN

Dari hasil uji banding dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem spektrometer di laboratorium spektrometri gamma PRSG masih mempunyai ketelitian yang baik.
2. Diperoleh pengukuran aktivitas sumber Eu-152 sebesar $34.614,88 \pm 231,96$ Bq dengan perbedaan sebesar 0.93 % dibandingkan dari hasil pengukuran di laboratorium standarisasi sumber standar PTKMR.
3. Hasil analisis kualitatif dan kuantitatif yang dilakukan di laboratorium spektrometri gamma Bidang Keselamatan (seperti analisis air pendingin primer, analisis limbah cair dan lain sebagainya) dapat dipertanggung jawabkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Susetyo, Wisnu, 1988 *Spektrometri Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
2. Tsoulfanidis, Nicholas, 1995, *Measurement and Detection of Radiation 2th edition*, Taylor & Francis, Washington DC.
3. Maestro-32 User Manual, 2006, ORTEC, USA.
4. Sertifikat sumber standar Eu-152 No.004/S/PI 0301/RBN/2006 PTKMR, Batan 2006
5. [http://www.nuklide/icrm/recommended data](http://www.nuklide/icrm/recommended_data)