

UJI AKURASI ALAT PENCACAH SPEKTROMETER GAMMA DENGAN MENGGUNAKAN SUMBER STANDAR

Elisabeth Ratnawati, Jaka Iman
PRSG Gedung 31, Batan, Puspiptek-Serpong
Email : betty@batan.go.id

ABSTRAK

UJI AKURASI ALAT PENCACAH SPEKTROMETER GAMMA DENGAN MENGGUNAKAN SUMBER STANDAR. Setelah digunakan sekian lama maka perlu untuk mengetahui apakah alat pencacah spektrometer gamma milik Bidang Operasi Reaktor masih memiliki kinerja seperti yang diharapkan. Karena itu akan dilakukan uji akurasi alat pencacah dengan menggunakan sumber standar titik yaitu Ba-133, Cs-137 dan Co-60. Dimana sumber standar ini dapat mewakili energi rendah, menengah dan energi tinggi. Uji akurasi dilakukan dengan cara menghitung aktivitas ketiga sumber standar titik yang difungsikan sebagai sampel/analit. Untuk mendapatkan nilai aktivitas maka dilakukan pencacahan sampel/analit selama 7200 detik dengan pengulangan masing masing sampel sebanyak lima kali. Sebagai sumber standar acuan digunakan sumber titik Eu-152 yang dicacah selama 10.000 detik untuk memperoleh nilai efisiensi pada energi tertentu. Hasil perhitungan aktivitas ketiga analit kemudian dibandingkan dengan nilai yang tertera dalam sertifikat, pada tanggal yang sama. Berdasarkan hasil uji akurasi diketahui bahwa hanya Ba-133 yang dinyatakan lolos/diterima, sedangkan Cs-137 dan Co-60 dinyatakan tidak lolos. Sedangkan dari perhitungan indeks bias relatif untuk sumber standar Ba-133 adalah sebesar -0,92%, sumber standar Cs-137 sebesar -12,60%, dan Co-60 sebesar -9,53%. Perbedaan nilai hasil uji dengan nilai yang tertera pada sertifikat dapat disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya faktor kesalahan/eror pada saat pencacahan, faktor kesalahan pada manusia, maupun dari peralatan itu sendiri. Perlu dilakukan percobaan lanjutan serta pengecekan kembali terhadap rangkaian alat pencacah ini agar kinerjanya terus terjaga dan stabil, terutama pada pencacahan nuklida dengan energi menengah dan energi tinggi, sehingga untuk selanjutnya dapat memberikan hasil analisis yang lebih akurat serta dapat dipercaya.

Kata kunci: akurasi, sumber standar, gamma spektrometer

THE ACCURACY TEST FOR GAMMA SPECTROMETER SYSTEM USING STANDARD SOURCES.

After have been used for such a long time, it is necessary to determine whether PRSG's gamma spectrometer system is still performing as expected or not. THEREFORE the accuracy test should be done to the counting EQUIPMENT/tool/system using point standard sources namely Ba-133, Cs-137 and Co-60. These standard sources of energy may represent

low, medium and high energy. Accuracy test is done by calculating those activity of the three standard point source which functioned as a sample / analyte. in order To get the value of the activities, the counting is carried out on the sample / analyte during 7200 seconds with five time repetitions of each samples. Eu-152 is used As a source of reference standards source points, which is counted for 10.000 seconds to earn energy efficiency in particular. the calculation results of Those three activities of the analyte are then compared with the value stated in the certificate, on the same date. Based on the test accuracy results, it is known that only Ba-133 which passed / received, while Cs-137 and Co-60 otherwise not qualified. While from the calculation of the relative refractive index to a standard source of Ba-133 is equal to -0.92%, the standard source of Cs-137 at -12.60%, and Co-60 amounted to -9.53%. The difference between test results value and the standard value stated on the certificate can be caused by many factors, including mistake / error factors while counting, human error factor, as well as of the equipment itself. Further experiments need to be done as well as checking back to the counting tool circuit in order to maintain its performance stability, especially when doing the counting of nuclides with medium energy and high energy, so in the future this tool is expected to provide a more accurate and trustworthy analysis results .

keyword : accuracy, standard source, gamma spectrometer system

PENDAHULUAN

Alat pencacah spektrometer gamma milik Bidang Operasi Reaktor PRSG merupakan alat pencacah yang biasanya digunakan untuk pengukuran fluks neutron pada posisi yang diinginkan. Setelah sekian lama digunakan maka

perlu untuk mengetahui apakah sistem spektrometer gamma ini masih memiliki kinerja yang stabil seperti yang diharapkan. Karena itu perlu dilakukan uji akurasi terhadap sistem tersebut. Uji akurasi dilakukan dengan menghitung aktivitas sumber standar Ba-133, Cs-137 dan Co-60 yang diperlakukan sebagai sampel/analit, kemudian

dibandingkan dengan nilai yang tertera dalam sertifikat.

Untuk mendapatkan aktivitas sumber maka ketiga sumber standar yang berfungsi sebagai analit yaitu Ba-133, Cs-137 dan Co-60 dicacah selama 7200 detik dengan jarak antara sampel dan detektor adalah 75 mm. Untuk mendapatkan efisiensi energi digunakan sumber standar titik Eu-152, yang dicacah selama 10.000 detik dengan jarak yang sama dengan analit yang akan dicari aktivitasnya, yaitu 75mm. Koreksi perhitungan dilakukan dengan cara menghitung nilai ketidakpastian dengan menggabungkan faktor-faktor penyumbang kesalahan. Hasil perhitungan akan dibandingkan dengan nilai yang tertera dalam sertifikat. Untuk menetapkan tingkat akurasi dan bias relatif akan digunakan persamaan tertentu yang sudah ditetapkan dalam standar laboratorium. Dari hasil kegiatan ini diharapkan akan dapat diketahui sejauh mana perbedaan antara hasil perhitungan dengan nilai yang tertera dalam sertifikat. Perbedaan hasil perhitungan dimungkinkan oleh adanya beberapa faktor diantaranya adalah kesalahan pada saat pencacahan, kesalahan manusia atau dapat juga karena kinerja sistem pencacah spektrometer gamma tersebut sudah mulai menurun kemampuannya. Dengan demikian dapat dilakukan penanganan maupun perbaikan secara khusus, agar supaya hasil pengukuran selanjutnya memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Sistem spektroskopi ⁽¹⁾

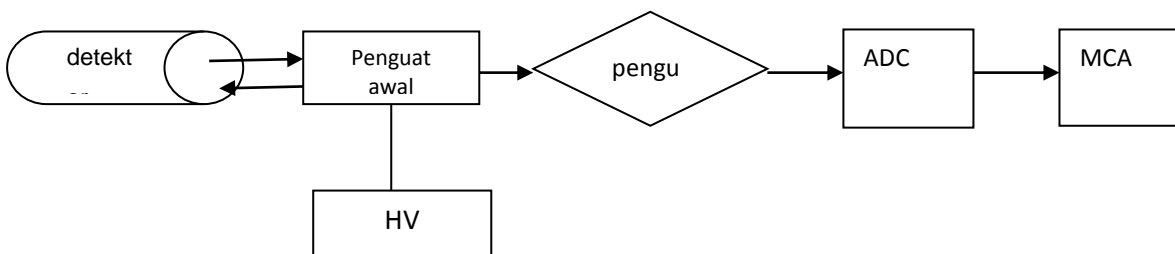
Berbeda dengan sistem pencacah differensial yang mengukur intensitas radiasi yang mempunyai selang energi tertentu, sistem spektroskopi ini menekankan distribusi pancaran radiasi terhadap energi nya. Fungsi utama dari sistem spektroskopi adalah mempelajari spektrum distribusi energi radiasi, meskipun demikian sistem

ini juga dapat digunakan untuk pencacahan. Kelemahan sistem ini bila digunakan untuk melakukan pencacahan adalah kecepatan yang sangat rendah. Hal ini disebabkan karena setiap radiasi yang memasukinya akan diukur energinya, sedangkan proses pengukuran energi tersebut membutuhkan waktu yang lama dibandingkan bila hanya digunakan untuk menentukan jumlahnya saja seperti yang ada pada sistem pencacah.

Spektrum yang terbentuk dari sistem spektroskopi merupakan puncak-puncak energi yang berbentuk kurva semi gaussian. Lebar kurva sangat dipengaruhi oleh jenis detektor maupun instrumentasi yang digunakan, dan sangat mempengaruhi keandalan suatu sistem spektroskopi. Semakin sempit kurvanya, makin baik sistem spektroskopinya karena lebih dapat membedakan atau memisahkan dua puncak energi yang berdekatan. Nilai yang digunakan sebagai ukuran lebar kurva ini disebut resolusi sistem spektroskopi. Sebagai contoh, nilai resolusi detektor NaI(Tl) komersial sekitar 60 keV sedangkan detektor HpGe komersial sekitar 2 keV. Maka ini berarti dua puncak energi yang berjarak 50 keV sudah sukar untuk dipisahkan bila menggunakan detektor NaI(Tl), akan tetapi akan jelas terpisah jika menggunakan detektor HpGe. Detektor semikonduktor mempunyai resolusi yang baik karena jumlah muatan yang dihasilkan persatuan energi lebih banyak daripada detektor yang lain sehingga memiliki nilai ketidakpastian pengukuran yang lebih kecil.

2. Instrumentasi Sistem Spektroskopi

Ciri utama dari sistem spektroskopi terletak pada rangkaian ADC dan MCA. Akan tetapi rangkaian penguat (amplifier) yang digunakan disini juga harus mempunyai beberapa fasilitas yang lebih lengkap daripada yang digunakan untuk sistem pencacah differensial. Berikut adalah gambar konfigurasi sistem spektroskopi.



Gambar 1 : Konfigurasi Sistem Spektroskopi

Sistem spektroskopi terdiri dari :

- **Detektor** : detektor yang digunakan mutlak harus dapat membedakan energi radiasi, semakin

baik bila digunakan detektor yang mempunyai resolusi energi sangat kecil seperti detektor semikonduktor.

- **Penguat awal** : penguat awal biasanya sudah merupakan satu kesatuan dengan detektornya.
- **Penguat** : rangkaian penguat mempunyai beberapa fasilitas tambahan yang seringkali perlu diatur ketika melakukan instalasi sistem. Fasilitas tersebut adalah; fasilitas *shapping time*, fasilitas *pole zero cancellation*, fasilitas *base line restoration*, dan fasilitas *pile up rejection*.
- **Analog Digital Converter (AC)**: merupakan rangkaian kunci dari sistem spektroskopi karena rangkaian inilah yang berfungsi untuk mengukur tinggi setiap pulsa yang memasukinya, berarti mengukur energi dari setiap radiasi. Sehingga pada rangkaian ini pulsa listrik yang bersifat analog akan dikonversikan menjadi angka digital yang nilainya sebanding dengan tinggi pulsanya.
- **Multi Channel Analyzer (MCA)** : merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menyimpan dan menampilkan hasil pengukuran ADC. Rangkaian ini tidak dapat dipisahkan dari ADC. Oleh karena itu seringkali rangkaian ADC dan MCA menjadi satu kesatuan.

3. Efisiensi Sistem

Salah satu faktor yang menyebabkan nilai tampilan sistem pencacah tidak sama dengan jumlah radiasi yang memasuki detektor adalah faktor efisiensi. Pada keadaan sebenarnya, tidak semua radiasi yang memasuki detektor berinteraksi dengan bahan detektor sehingga tidak menghasilkan pulsa listrik. Sebagai contoh, sebagian besar radiasi gamma yang memasuki detektor gas tidak berinteraksi (tidak terserap) sehingga hanya sebagian kecil saja yang dapat dikonversikan menjadi pulsa listrik. Terlihat bahwa nilai cacahan yang ditampilkan oleh sistem pencacah bukanlah intensitas ataupun aktivitas sumber.

Effisiensi sistem merupakan suatu nilai yang menunjukkan hubungan/korelasi antara nilai cacahan (jumlah pulsa listrik) yang ditampilkan sistem terhadap intensitas radiasi yang dipancarkan sumber. Sebelum nilai efisiensi sistem ditentukan, nilai cacahan yang ditampilkan tidak berarti apapun. Jumlah radiasi yang dipancarkan oleh sumber atau aktivitas sumber dapat ditentukan dengan membagi nilai yang ditampilkan sistem dengan nilai efisiensi nya. Cara untuk menentukan efisiensi sistem adalah dengan melakukan pencacahan sumber standar yaitu sumber yang telah diketahui jenis

nuklida dan aktivitasnya. Berikut adalah rumus untuk menghitung efisiensi

$$\eta = \frac{R}{A.p} \dots\dots\dots(1)$$

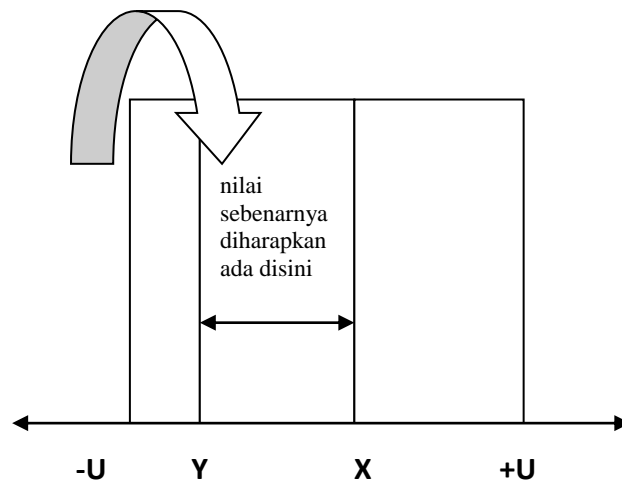
dimana
 η : efisiensi sistem
 R : laju cacahn dalam cpd (cacah per detik)
 A : aktivitas sumber saat pengukuran dalam (Bq)
 P: probabilitas pancaran radiasi
 Effisiensi sistem pencacah sangat dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut :
 -Kondisi sistem pencacah, baik detektor maupun perangkatnya
 -Geometri pengukuran, seperti jarak, ukuran sumber, penggunaan kolimator
 -Jenis radiasi
 -Energi radiasi
 Sedikit perubahan pada salah satu dari keempat hal diatas dapat menyebabkan nilai efisiensi berubah.

Ketidakpastian pengukuran

Tidak ada satupun hasil pengukuran yang mempunyai kebenaran mutlak. Betapapun canggihnya alat yang digunakan, dan betapapun stabil kondisi lingkungan disekitar pengukuran. Hal tersebut dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan manusia. Untuk itu jika ada suatu hasil pengukuran, baik dalam bidang pengujian, analisa ataupun kalibrasi yang menyatakan bahwa hasil ukurnya merupakan nilai sebenarnya dari apa yang sedang diukur, maka dapat dikatakan bahwa pengukuran tersebut tidak benar. Karena selalu ada sumber kesalahan yang menyumbang dalam proses pengukuran⁽²⁾. Berikut adalah gambaran sumber kesalahan tersebut:

- definisi besaran ukur yang tidak lengkap
- realisasi definisi besaran ukur yang tidak sempurna
- sampel ukur
- pengaruh kondisi lingkungan
- pengaruh personil
- Resolusi alat
- Bahan acuan standar
- Nilai konstanta dll

Sebagai contoh, apabila terdapat sepuluh data pengukuran maka akan diperoleh nilai rata rata (X) dimana nilai rata rata ini bukanlah nilai sebenarnya dari benda terukur. Tetapi nilai sebenarnya pasti berada disekitar nilai rata rata tersebut (Y). Jika keberadaan nilai tersebut dibatasi dengan nilai ‘U’ diantara nilai rata rata tersebut, maka ‘U’ disebut dengan ketidakpastian. Sehingga ketidakpastian dapat didefinisikan sebagai rentang nilai disekitar hasil pengukuran yang didalamnya diharapkan terletak nilai sebenarnya dari besaran ukur⁽³⁾. Skema ketidakpastian pengukuran dapat digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2 : Rentang Nilai Pengukuran

5. Akurasi

Akurasi adalah kesesuaian antara hasil suatu analisis dan nilai benar analit/unsur, karena nilai hasil analisis pada kenyataannya merupakan perkiraan nilai benar dengan memperhitungkan nilai ketidakpastiannya. Pengujian akurasi dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu :

- a. Analisis bahan acuan, hasilnya dibandingkan dengan nilai analit sebenarnya. Selisihnya memberikan nilai penyimpangan dari metode.
- b. Analisis bahan acuan/uji, hasilnya dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan metode lain. Selisihnya memberikan nilai penyimpangan metode relatif terhadap metode lain. Hal ini biasanya dilakukan apabila tidak tersedia bahan acuan

Kriteria penerimaan untuk pengujian tingkat akurasi digunakan persamaan (2). Akurasi hasil pengujian baik(lolos) apabila memenuhi persamaan berikut: ⁽⁴⁾

$$\frac{|X - Y|}{Y} \leq \text{batas} \dots(2)$$

PELAKSANAAN KEGIATAN

Peralatan dan Bahan

Pada kegiatan ini digunakan peralatan berupa seperangkat sistem spektroskopi gamma yang terdiri dari detektor HPGe beserta dewar, pre-amplifier, HVPS, spektroskopi amplifier, ADC dan MCA, sumber gamma standard Eu-152 untuk kalibrasi energi dan perhitungan efisiensi energi, sumber standard titik Ba-133, Cs-137, Co-60 yang berfungsi sebagai bahan uji yang akan dicari aktivitasnya.

CARA KERJA

Preparasi

Menyiapkan alat sistem spektroskopi sinar gama dan melakukan kalibrasi energi dengan sumber standar Eu-152.

Pencacahan

Melakukan pencacahan sumber standar Eu-152 dengan jarak antara detektor dan sampel adalah 75mm selama 10.000 detik. Melakukan pencacahan sumber standar Ba-133, Cs-137 dan Co-60 dimana dalam percobaan ini dianggap sebagai sampel /analit. Masing-masing sumber dicacah selama 7200 detik, dengan jarak yang sama yaitu 75 mm.

Perhitungan/analisis data

- 1. Melakukan perhitungan efisiensi energi dengan rumus (1)
- 2. Menghitung aktivitas sumber standar Ba-133, Cs-137, Co-60 dengan rumus

$$\text{Aktivitas (Bq)} = \frac{\text{cps}}{\text{eff} \times \text{intensitas}} \dots\dots\dots (3)$$

- 3. Melakukan koreksi pengukuran, dengan menghitung ketidakpastian pengukuran
- 4. Menentukan bias relatif dengan rumus
- 5.

$$\frac{|X - Y|}{Y} \leq \text{batas} \dots\dots\dots(4)$$

- 6. Melakukan uji akurasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pencacahan sumber standar yang dicari aktivitasnya dilakukan dengan lima kali pengulangan. Dari kelima hasil perhitungan kemudian dihitung rata-rata dan dihitung nilai ketidakpastiannya dengan menyertakan faktor penyumbang kesalahan. Berikut adalah tabel hasil perhitungan aktivitas sumber standar.

Tabel 1: Hasil Perhitungan Aktivitas Sumber Standar Tanggal 9 Juli 2015

Sumber standar	Pencacahan ke	Aktivitas (Bq)	Aktivitas rata-rata (bq)	Standar Deviasi	Ketidakpastian pengukuran / U (%)
Ba-133	1	66.666,340	66.383,2134	273,096	0,184
	2	66.666,340			
	3	66.241,713			
	4	66.052,991			
	5	66.288,684			
Cs-137	1	190.409,415	198.394,326	10.933,790	2,46
	2	190.409,415			
	3	190.409,415			
	4	210.371,693			
	5	210.371,693			
Co-60	1	9.422,883	9.861,559	246,043	1,12
	2	9.996,749			
	3	9.973,795			
	4	9.973,795			
	5	9.940,570			

Dari Tabel 1 diatas nampak bahwa kelima hasil perhitungan aktivitas Ba-133 memiliki kisaran yang hampir sama, yaitu 66.052,991-66.666,340 Bq. Pada perhitungan ketidakpastian pengukuran, Ba-133 juga memiliki angka ketidakpastian yang relatif kecil ($\pm 0,184\%$). Sedangkan pada hasil perhitungan aktivitas Cs-137 ada perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan keempat dan kelima (210.371,693 Bq) dengan perhitungan pertama hingga ketiga (190.409,415 Bq). Nilai ketidakpastian pada Cs-137 diperoleh pada $\pm 2,46\%$. Perhitungan aktivitas Co-60 memiliki kecenderungan yang sama dengan Ba-133, yaitu kelima hasil perhitungan memiliki nilai yang

berdekatan (9.422,883Bq - 9.996,749Bq). Sedangkan nilai ketidakpastian pengukuran sebesar $\pm 1,12\%$. Dari hasil perhitungan aktivitas ketiga sumber standar ini kemudian dibandingkan dengan nilai yang tertera dalam sertifikat. Acuan waktu yang digunakan untuk menghitung aktivitas adalah sama tanggal 9 Juli 2015. Dengan menggunakan persamaan (2) maka dapat diketahui apakah hasil perhitungan aktivitas ini memenuhi kriteria akurasi. Selain itu juga dihitung indeks bias relatif dengan menggunakan persamaan (4). Berikut adalah tabel hasil uji akurasi sumber standar Ba-133, Cs-137 dan Co-60.

Tabel 2: Hasil Uji Akurasi Dengan Menggunakan Sumber Standar

Sumber Standar	Hasil Analisis (Bq)	U* (%)	Nilai sertifikat (Bq)	U* (%)	Bias relatif (%)	Kriteria Penerimaan		Status
					$\frac{\text{Nilai}_{\text{analisis}} - \text{Nilai}_{\text{target}}}{\text{Nilai}_{\text{target}}} \times 100\%$	$ N_t - N_a $	$1.95 \sqrt{U_t + U_a}$	
Ba-133	66.383,21	0,18	67.000	4,8	-0,92	616,787	6275,72	lolos
Cs-137	198.394,33	2,46	227.000	3,7	-12,60	28.605,67	18.951,43	tidak
Co-60	9.861,56	1,12	10.900	1,9	-9,53	1.038,44	457,3067	tidak

U* adalah nilai ketidakpastian pengukuran (uncertainty)

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditampilkan pada tabel 2 di atas nampak bahwa hanya hasil pengukuran Ba-133 yang lolos uji akurasi dan mempunyai nilai bias relatif paling rendah. Sedangkan Cs-137 dan C0-60 tidak lolos uji akurasi dan memiliki bias relatif yang cukup besar yaitu -12,60% dan -9,53%. Hal ini dapat terjadi karena dalam proses perhitungan aktivitas ada beberapa faktor yang menyebabkan timbulnya perbedaan nilai hasil analisis dengan nilai dalam sertifikat. Beberapa diantaranya adalah faktor kesalahan pada pencacahan, atau faktor kesalahan manusia. Disamping itu, sistem dalam rangkaian alat spektrometer juga dapat menjadi penyebab hasil perhitungan memiliki nilai yang berbeda dari nilai yang tertera dalam sertifikat. Seperti telah dikatakan pada awal tulisan ini, alat pencacah spektrometer gamma ini sudah digunakan sekian lama. Dengan berjalannya waktu, kemungkinan terjadi penurunan kinerja alat yang menyebabkan kondisi sistem menjadi tidak stabil terutama pengukuran pada energi menengah dan energi tinggi. Maka dirasa perlu melakukan percobaan lanjutan serta penanganan khusus terhadap rangkaian alat pencacah ini agar supaya kinerja sistem spektrometer ini terus terjaga dan stabil, sehingga dapat memberikan hasil analisis yang lebih akurat serta dapat dipercaya

KESIMPULAN

1. Perbedaan hasil perhitungan dengan nilai yang tertera pada sertifikat disebabkan oleh beberapa faktor.
2. Dianggap perlu melakukan percobaan lanjutan serta penanganan khusus terhadap rangkaian alat pencacah spektrometer gamma ini agar supaya kinerja sistem terus terjaga dan stabil, sehingga dapat memberikan hasil analisis yang lebih akurat serta dapat dipercaya

DAFTAR PUSTAKA

1. Wisnu Susetyo, Spektrometri Gamma Dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gajah Mada University Press, 1988
2. PT. Indocal Bandung, Diktat Pelatihan Ketidakpastian Pengukuran, Agustus 2005
3. J. Kantasubrata, Dasar Ketidakpastian Pengukuran, Pelatihan Ketidakpastian Hasil Pengukuran untuk Laboratorium Penguji, 2003
4. IAEA. *Summary Report of the Proficiency Test for the IAEA Project RAS/2/010: Quality Assurance and Quality Control of Nuclear Analytical Techniques*, Seiberdorf, 03 January, 2003.

PERTANYAAN :

Nama Penanya : Sugiyanto
Unit Kerja : PRSG

Pertanyaan :

Dalam persamaan yang digunakan untuk pengujian tingkat akurasi digunakan dua jenis ketidakpastian (Uncertainty), yaitu U_{target} dan $U_{analisis}$. Mohon dijelaskan satu persatu

Jawaban :

Akurasi hasil pengujian baik (lolos) apabila memenuhi persamaan berikut:

$$U_{target} \leq U_{analisis}$$

Dimana :

U_{target} : Nilai aktivitas sumber standar dalam sertifikat

$U_{analisis}$: Nilai aktivitas sumber standar hasil analisis/perhitungan

U_{target} : Nilai ketidakpastian perhitungan aktivitas sumber standar yang tertera dalam sertifikat

$U_{analisis}$: Nilai ketidakpastian perhitungan aktivitas sumber standar hasil analisis yang merupakan ketidakpastian gabungan, dengan tingkat kepercayaan 95% , $k=2$

Nama Penanya : Suyoto
Unit Kerja : PTBBN

Pertanyaan :

Berapa rentang nilai (range) untuk lolos uji akurasi? Mengapa hanya Ba-133 yang lolos.?

Jawaban :

Tidak menggunakan rentang nilai (range) tertentu, tapi seperti dijelaskan sebelumnya, bahwa hasil pengujian akurasi lolos/ diterima, bila memenuhi persamaan:

$$U_{target} \leq U_{analisis}$$

Ba-133 memiliki nilai yang dapat diterima, sedangkan Cs-137 dan C0-60 tidak memenuhi kriteria akurasi, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor. Kemungkinan dapat terjadi karena kesalahan/eror pada saat pencacahan, sehingga hasil perhitungan aktivitas Cs-137 dan C0-60 memiliki penyimpangan nilai terhadap sertifikat yang cukup berarti dan tidak memenuhi kriteria akurasi. Faktor penyebab penyimpangan juga dapat terjadi dari alat itu sendiri, yaitu kemungkinan alat spektrometer gamma kurang stabil pada pengukuran energi menengah dan tinggi. Seperti diketahui, Ba-133 memiliki energi yang rendah. Sedangkan Cs-137 dan C0-60 memiliki energi menengah dan tinggi. Oleh sebab itu diperlukan kegiatan lanjutan, agar dapat diketahui secara lebih jelas letak permasalahannya.

