

OA12

PEMBUATAN SUMBER STANDAR ^{57}Co BENTUK ROD UNTUK KEDOKTERAN NUKLIR

Hermawan Candra¹, Gatot Wurdianto¹, Holnisar¹
¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN
hermawan@batan.go.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk rod. Sumber standar ^{57}Co bentuk rod untuk mengkalibrasi Gamma counter. Gamma counter merupakan peralatan yang mempunyai sensitivitas tinggi untuk mengukur tingkat kontaminasi bahan radioaktif. Sumber standar ^{57}Co bentuk Rod terbuat dari bahan lucite berukuran 127 mm x 12,7 mm diameter. Radionuklida ^{57}Co mempunyai waktu paro ($T_{1/2}$): 271,8 hari dan mempunyai 2 energi gamma yang berintensitas tinggi yaitu : 122,060(12) keV (85,51%) dan 136,47(29)keV(10,71%).Pembuatan cuplikan ^{57}Co dalam bentuk cair dalam ampul dan padat dalam bentuk point source dan rod. Pencacahan cuplikan ^{57}Co dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor High Purity Germanium (HPGe) dengan sumber standar multi gamma ^{152}Eu pada rentang energi 100 keV sampai 1408 keV dan kamar pengion $4\pi\gamma$. Hasil pengukuran aktivitas ^{57}Co menggunakan metode relatif dengan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ tanpa pengenceran: (5434,12 \pm 3,11%)Bq/mg, dengan pengenceran (5460,07 \pm 3,13%)Bq/mg dan sistem pencacah spektrometer- γ detektor HPGe bentuk sumber titik : (5431,64 \pm 2,15%)Bq/mg dan bentuk rod adalah (5414,46 \pm 2,97%) Bq/mg dengan waktu acuan 1 April 2017

Kata kunci: Sumber Standar ^{57}Co , Bentuk Rod, Kalibrasi, Gamma Counter, Spektrometer Gamma

ABSTRACT

Making of ^{57}Co standard source for rod form were done. ^{57}Co Standard source of rod form used to calibrate of Gamma Counter. Gamma Counter with well type NaI(Tl) scintillation detector is nuclear instrumentation have high sensitivity for radioactive contamination level. ^{57}Co standard source of rod form consists of a lucite rod measuring 127 mm x 12,7 mm diameter. ^{57}Co radionuclide has half live ($T_{1/2}$) of 271.8 days and with 2 gamma energies of 122.06(12)keV (85.51%) and 136.47(29)keV (10.71%). ^{57}Co preparation in the forms of liquid in ampoule, solid in point source and rod. ^{57}Co sample was counted with gamma spectrometer counting system with High Purity Germanium (HPGe) semiconductor detector using ^{152}Eu multi gamma standard source with a wide energy range of gamma energies 100keV to 1408keV and ionization chamber $4\pi\gamma$ counting system. The result of ^{57}Co radioactivity measurement using relative method were as follow with ionization chamber $4\pi\gamma$ counting system without dilution was (5434.12 \pm 3.11%)Bq/mg, and with dilution was (5460.07 \pm 3.13%)Bq/mg, and gamma spectrometer with HPGe detector counting system point source form was (5431.64 \pm 2,15%)Bq/mg and rod form was (5414.46 \pm 2.97%) Bq/mg at reference time 1 April 2017.

Key words: ^{57}Co standard source, rod form, calibration, Gamma Counter, gamma spectrometer

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang nuklir telah berkembang dan menyebar ke berbagai bidang kegiatan. Agar pemanfaatan radiasi pengion dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya dengan risiko bahaya radiasi sekecil-kecilnya maka pengukuran radiasi secara tepat dan akurat merupakan suatu hal yang harus benar-benar menjadi prioritas utama. Metrologi radiasi merupakan ilmu pengetahuan dalam bidang pengukuran radiasi, yang meliputi: radioaktivitas, dosis, intensitas radiasi, waktu paro dan sifat-sifat lain dari radionuklida pada penggunaan radiasi pengion [1]

Salah satu kegiatan dari bidang metrologi radiasi adalah standarisasi radionuklida [2,3]. Standarisasi radionuklida adalah kegiatan menyiapkan dan membuat sumber standar radionuklida yang digunakan dalam pemanfaatan teknologi nuklir dan berfungsi sebagai acuan dalam pengukuran radioaktivitas pada bidang

keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan. Beberapa langkah dalam pembuatan sumber standar adalah:

- Penyiapan penyangga sumber standar radionuklida
 - Penyiapan pelarut (larutan pengemban) untuk sumber standar radionuklida
 - Pemilihan metode penentuan aktivitas sumber standar radionuklida
 - Pengukuran dan perhitungan radioaktivitas
- Pada kegiatan metrologi radioaktivitas, diperlukan sumber standar radionuklida untuk kalibrasi alat ukur radiasi. Pada saat ini sumber standar radionuklida yang digunakan sebagian besar masih impor dari negara lain.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk Rod. Pemilihan radionuklida ^{57}Co ini berdasarkan banyaknya kebutuhan radionuklida tersebut pada kedokteran nuklir untuk kalibrasi alat ukur aktivitas. Radionuklida ^{57}Co ini dapat digunakan sebagai simulator radionuklida ^{99m}Tc yang mempunyai waktu

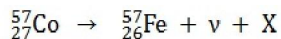
paro pendek (6,02 jam). Radionuklida ^{57}Co dan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ mempunyai energi gamma yang berdekatan.

Beberapa penelitian mengenai standarisasi radionuklida ^{57}Co pernah dilakukan oleh *MEC Troughton*[4], *Garfinkel*[5], *D.Novkovic*[6]. Penelitian dan pengembangan mengenai metode standarisasi radionuklida berbagai radionuklida secara terus menerus dikembangkan untuk menjamin tersedianya sumber standar buatan dalam negeri, sehingga dapat mengurangi ketergantungan dari luar negeri. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan standarisasi radionuklida ^{57}Co menggunakan metode absolut dengan sistem pencacah koinsidensi $4\pi\beta(\text{LS})-\gamma$ dengan variasi diskriminator pada 2 saluran gamma E_γ 122,06(12) keV dan saluran gamma E_γ 136,47(29) keV[7] dan menggunakan metode relatif dengan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ dan spektrometer- γ .

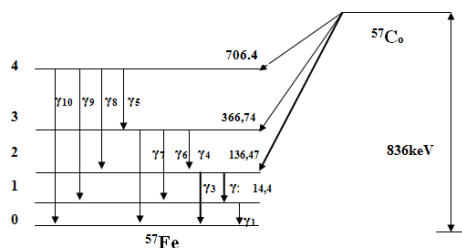
Salah satu instrumentasi nuklir pada bidang kedokteran nuklir yaitu Gammal counters yang menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl). Gamma counters merupakan peralatan pada kedokteran nuklir yang mempunyai sensitivitas tinggi untuk mengukur tingkat kontaminasi bahan radioaktif. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar ^{57}Co bentuk Rod untuk mengkalibrasi Gamma counters menggunakan detektor sintilasi NaI(Tl) pada kedokteran nuklir.

LANDASAN TEORI / POKOK BAHASAN

Radionuklida ^{57}Co meluruh melalui tangkapan elektron (*elektron capture EC*). Pada mode peristiwa tangkapan elektron ini proton berubah menjadi neutron dengan cara menangkap elektron (e^-) dari orbital K atau L dan diikuti dengan pancaran neutrino dan sinar-X.



Skema peluruhan ^{57}Co dengan mode peluruhan tangkapan elektron disajikan pada gambar 1. Pada skema tersebut dapat dijelaskan bahwa pada kulit K atau L yang kosong diisi oleh elektron dengan tingkat energi yang lebih tinggi dan kekosongan yang baru akibat pengisian pada orbital K atau L akan diisi oleh elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi lagi sampai susunan elektron pada konfigurasi yang stabil.



Gambar 1. Skema Peluruhan ^{57}Co [8]

Radionuklida ^{57}Co mempunyai waktu paro 271,80 (5) hari dan Energi transisi tangkapan elektron adalah $\epsilon_{0,4}:129,6(4)$ keV, $\epsilon_{0,3}:469,2(4)$ keV, $\epsilon_{0,2}:699,5(4)$ keV, $\epsilon_{0,1}:821,6(4)$ keV dan $\epsilon_{0,0}:836,0(4)$ keV[8,9]. Dari transisi tangkapan elektron tersebut, inti atom tereksitasi pada akhirnya menuju ke tingkat *ground state* dengan memancarkan radiasi elektromagnetik berupa pancaran foton sinar gamma dan besarnya energi gamma pada tiap tiap transisi tingkat energi adalah

$E_{\gamma 1,0}:14,41(31)\text{keV}$, $E_{\gamma 2,1}:122,06(12)\text{keV}$,
 $E_{\gamma 2,0}:136,47(29)\text{keV}$, $E_{\gamma 3,2}:230,27(3)\text{keV}$,
 $E_{\gamma 4,3}:339,67(3)\text{keV}$, $E_{\gamma 3,1}:352,34(2)\text{keV}$,
 $E_{\gamma 3,0}:366,74(3)\text{keV}$, $E_{\gamma 4,2}:569,94(4)\text{keV}$,
 $E_{\gamma 2,1}:692,01(2)\text{keV}$, $E_{\gamma 4,0}:706,42(2)\text{keV}$
 sesuai dengan tabel peluruhan ^{57}Co [8,9].

Metode Pengukuran Relatif Sistem Pencacah Spektrometer Gamma

Pada metode pengukuran aktivitas secara relatif dilakukan dengan cara membandingkan hasil cacahan cuplikan dengan hasil cacahan sumber standar. Ketepatan dan ketelitian pada metode ini sangat tergantung pada kondisi pencacahan peralatan yaitu efisiensi peralatan dan kesesuaian bentuk geometri antara cuplikan dan sumber standar yang meliputi ukuran, bentuk, jenis radiasi dan jenis radionuklida. Sistem pencacah untuk pengukuran aktivitas secara relatif adalah kamar pengion $4\pi\gamma$ dan spektrometer gamma.

Pada sistem pencacah spektrometer gamma dengan detektor HPGe dapat digunakan untuk analisa kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif (kalibrasi energi) yang benar akan menghasilkan ketelitian yang tinggi sehingga pengukuran cuplikan dapat dilakukan. Kondisi pengukuran cuplikan harus sama dengan saat kondisi kalibrasi. Penentuan puncak-puncak spektrum- γ dicatat pada nomor channel pada sumbu X. Dari persamaan garis linier untuk kalibrasi energi $Y=aX+b$ maka puncak energi γ pada sumbu Y dapat bersesuaian. [19,20,21]

Pada analisa kuantitatif (kalibrasi efisiensi) menentukan luas puncak serapan total yang merupakan jumlah cacah yang terkandung dalam suatu puncak. Sumber radioaktif memancarkan sinar ke segala arah (4π). Efek geometri jarak antara sumber dan detektor menyebabkan hanya sebagian saja dari sinar- γ yang dipancarkan cuplikan akan terdeteksi. Hal ini berkaitan dengan efisiensi deteksi sinar- γ .

Efisiensi pada spektrometri gamma merupakan efisiensi mutlak dari puncak serapan total. Efisiensi deteksi merupakan fungsi energi $\epsilon(E)$. Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari E_γ rendah ($<100\text{keV}$) sampai E_γ tinggi (1500keV) maka dapat dibuat kurva kalibrasi efisiensi yaitu plot antara efisiensi dan energi- γ . Nilai efisiensi deteksi pengukuran ditentukan berbagai faktor, yaitu yaitu jarak antara cuplikan dengan detektor, bentuk

geometri sumber radioaktif, volume detektor, daya pisah elektronik.

Sumber standar yang sering dipakai pada analisa kualitatif dan kuantitatif ini adalah sumber standar multigamma ^{152}Eu . Sumber standar ini mempunyai rentang energi- γ dari terendah sampai tertinggi yaitu dari E_{γ} 121-1408keV dan mempunyai waktu paro panjang, 13,522 tahun.

METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Bahan dan Peralatan

1. Sumber standar multi gamma ^{152}Eu buatan LMRI bentuk padat (*point source*)
2. Sumber standar multi gamma ^{152}Eu buatan LMRI bentuk rod buatan PTKMR BATAN
3. Sumber ^{57}Co bentuk Cair buatan POLATOM Polandia
4. Larutan Carrier 0,05g/l $\text{CoCl}_2+6\text{H}_2\text{O}$ dalam 1 M HCl
5. Sistem pencacah spektrometer gamma detektor germanium kemurnian tinggi (*High Purity Germanium*) GC 1018 buatan Canberra
6. Sistem pencacah Kamar Pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7 BT
7. High Voltage Supply Type TC 950 buatan Tennelec
8. Amplifier Type 2022 buatan Canberra,
9. Multiport II buatan Canberra,
10. Osiloskop,
11. Software Genie 2000 buatan Canberra

Tata Kerja

Pembuatan Cuplikan Bentuk Rod

Pada penelitian ini sampel ^{57}Co dibuat dalam bentuk geometri cair dalam ampul dan padat dalam bentuk geometri *point source* dan Rod. Pembuatan bentuk geometri sumber radioaktif disesuaikan dengan rentang ukur kemampuan peralatan atau detektor yang akan digunakan untuk pengukuran. Sumber radioaktif ^{57}Co dalam bentuk cair diukur menggunakan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7 BT dan sumber radioaktif ^{57}Co dalam bentuk padat diukur menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe. Pada tahap awal sumber radioaktif master ^{57}Co cair dalam ampul yang diperoleh dari Polatom Polandia diukur menggunakan sistem pencacah kamar pengion $4\pi\gamma$ Capintec CRC 7BT dengan tujuan untuk memperkirakan aktivitas jenis (kBq/gram) dan besarnya faktor pengenceran. Aktivitas Jenis sumber radioaktif master ^{57}Co cair adalah 30,95 MBq/gram. Aktivitas sumber radioaktif master ^{57}Co yang masih terlalu tinggi tersebut perlu diencerkan menggunakan larutan pengemban (larutan carrier) : $0,05\text{g/l CoCl}_2+6\text{H}_2\text{O}$ dalam 1 M HCl[1]

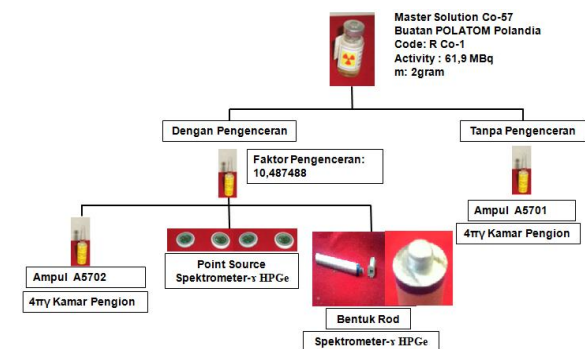
Sumber radioaktif master ^{57}Co cair dipreparasi dalam bentuk cair dengan perlakuan tanpa pengenceran dan dengan pengenceran. Besar kecilnya pengenceran disesuaikan dengan peralatan atau detektor yang akan digunakan untuk pengukuran. Larutan master ^{57}Co sebanyak 0,3296

gram diambil dari ampul dan dimasukkan dalam vial, kemudian ditambah larutan pengemban sebanyak 3,127 gram sehingga jumlah total menjadi 3,4569 gram. Faktor Pengenceran (*dilution factor*) adalah berat total dibagi berat larutan master yaitu 10,487 kali.

Sumber radioaktif master ^{57}Co cair yang sudah diencerkan ditetaskan pada penyangga sumber mylar untuk pembuatan sumber bentuk geometri padat, pada ampul untuk bentuk geometri cair dan bentuk geometri Rod yang terbuat bahan lucite berukuran 127 mm x 12,7 mm diameter. Penimbangan cuplikan menggunakan metode gravimetri dengan cara variasi berat, menggunakan timbangan semi mikro Type ABT 220-5 DMT 7037. Sumber radioaktif ^{57}Co sebelum dan sesudah ditetaskan ditimbang pada penyangga bentuk rod sefokus mungkin di tangan penyanggah rod sehingga diharapkan homogen, sehingga berat masing masing tetesan diketahui. Setelah dilakukan penimbangan sampel dikeringkan dan setelah kering dilakukan penutupan menggunakan penutup rod tersebut untuk mencegah terjadinya kontaminasi. Sampel bentuk rod disajikan pada Gambar 2,



Gambar 2. Sumber Standar ^{57}Co Bentuk Rod



Gambar 3. Diagram alir pembuatan cuplikan

Pencacahan cuplikan

Pengukuran aktivitas sampel ^{57}Co bentuk padat (*point source*) dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor *High Purity Germanium* (HPGe) menggunakan sumber standar ^{152}Eu LMRI 100-1500 keV dan bentuk

geometri Rod berukuran 127 mm x 12,7mm diameter menggunakan sumber standar ¹⁵²Eu 100-1500 keV bentuk rod buatan PTKMR Sedangkan sampel ⁵⁷Co bentuk cair menggunakan dalam ampul sistem pencacah kamar pengion 4π Capintec CRC 7 BT. Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan analisa kualitatif menggunakan kurva kalibrasi energi sedangkan analisa kuantitatif menggunakan kurva kalibrasi efisiensi. Sumber standar yang digunakan adalah sumber standar ¹⁵²Eu buatan LMRI. yang mempunyai rentang energi rendah sampai tinggi (121keV sampai 1408 keV). Sumber standar ¹⁵²Eu dipilih sebagai sumber standar karena mempunyai waktu paro panjang (13,1 tahun) dan mempunyai rentang energi gamma yang lebar yaitu antara (121keV sampai 1408keV). Nilai efisiensi yang sering dipakai adalah efisiensi mutlak. Nilai efisiensi tersebut dihitung dengan persamaan :

$$\epsilon(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)} \quad (1)$$

Dimana :

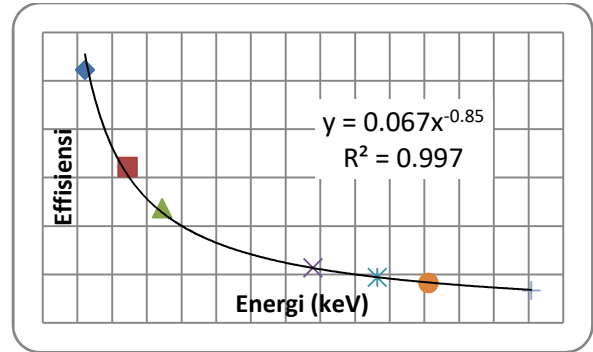
$\epsilon(E)$ adalah efisiensi mutlak pada energi Energi gamma
 cps adalah laju pencacahan yang dihasilkan pada pengukuran
 dps adalah aktivitas standard pada saat pengukuran
 $Y(E)$ adalah yield sebagai fungsi energi gamma

Kualitas kalibrasi efisiensi sangat mempengaruhi hasil pengukuran aktivitas radionuklida sehingga ketelitian dan keakuratan pada pembuatan kurva kalibrasi efisiensi sangat penting. Ketelitian dan keakuratan pada pembuatan kurva kalibrasi ini sangat bergantung pada penentuan luas puncak serapan total setiap spektrum energi sinar gamma. Penentuan luas puncak spektrum ini akan menentukan harga laju cacah (*cps*). Selain itu perhitungan pada penentuan cacah latar juga sangat berpengaruh pada harga laju cacah sebenarnya. Kalibrasi efisiensi sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe dilakukan dengan menggunakan sumber standar multigamma ¹⁵²Eu buatan LMRI Perancis bentuk padat Pada perhitungan nilai efisiensi, beberapa hal yang mempengaruhi adalah faktor geometri pencacahan yaitu jarak antara sumber radioaktif dan detektor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sumber standar ¹⁵²Eu LMRI digunakan sebagai data analisa kuantitatif menggunakan spektrometer gamma untuk mendapatkan nilai efisiensi setiap energi gamma secara perhitungan. Nilai efisiensi digunakan untuk membuat kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi gamma. Kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe menggunakan sumber standar ¹⁵²Eu LMRI untuk penentuan luas puncak serapan total pada rentang energi 100 keV sampai 1500keV disajikan pada Gambar 4.

Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 100 keV sampai 1500 keV menggunakan ¹⁵²Eu LMRI diperoleh nilai korelasi R² sebesar 0.9977 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 0,0675 X^{-0,856}$. Sedangkan perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan tanpa koreksi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 4. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan ¹⁵²Eu LMRI 100-1500 keV

Tabel 1. Perbedaan nilai efisiensi terukur dan perhitungan

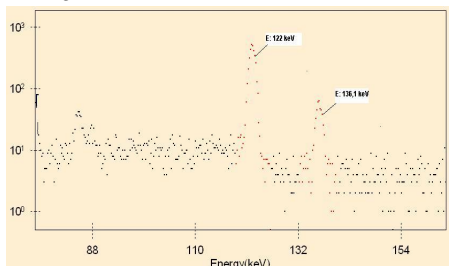
E (keV)	Yield	Effisiensi terukur (ε)	Effisiensi perhitungan (εo)	Δε	ε / εo
121,7817	0,284	0,001045	0,001107	0,000062	0,94
244,6974	0,0755	0,000644	0,000609	-0,000035	1,06
344,2785	0,2659	0,000474	0,000455	-0,000019	1,04
778,9045	0,1297	0,000228	0,000226	-0,000002	1,01
964,079	0,145	0,000188	0,000188	0,000000	1,00
1112,076	0,1341	0,000165	0,000167	0,000001	0,99
1408,013	0,2085	0,000134	0,000136	0,000002	0,98

Nilai efisiensi pada masing-masing energi gamma yang diperoleh dari hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan pada energi memberikan perbedaan Δε relatif kecil berkisar antara 0 – 0,000062. Menurut Debertin(1985) pada energi di bawah 300keV kemungkinan adanya *summing effects*. [5] Perbandingan nilai efisiensi hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil perhitungan cukup baik yaitu antara 0,9– 1,1. Pada kurva kalibrasi efisiensi pada daerah energi gamma diatas 100keV telah diperoleh nilai efisiensi yang semakin turun seiring dengan kenaikan energi gamma. Hal ini disebabkan karena pada daerah energi rendah kemampuan sinar gamma untuk berinteraksi dengan detektor sangat rendah. Sehingga kemampuan untuk menembus jendela aktif detektor juga semakin rendah. Sebaliknya dengan semakin meningkatnya energi gamma maka foton gamma meloloskan diri dari detektor tanpa berinteraksi menjadi cukup besar sehingga nilai efisiensi deteksinya juga akan turun. Hasil pengukuran dan perhitungan aktivitas Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma. disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran aktivitas Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod

Bentuk Sumber		Aktivitas (kBq/g) Ref Time: 1-4-2017		
		Kamar Pengion	Spektrometer Gamma	Perbedaan (%)
Cair	Tanpa Pengenceran A5701/17	5434,121		
Cair Padat (Point Source)	Pengenceran Faktor Pengenceran : 10,487488 A5702/17		518,01	0,03
	M5701/17		514,16	0,77
	M5702/17		519,46	0,25
	M5703/17		517,02	0,22
	M5704/17		518,61	0,09
Padat (Rod)	M5705/17		516,67	0,29
	R5701/17		507,47	2,06
	R5702/17		506,01	2,34

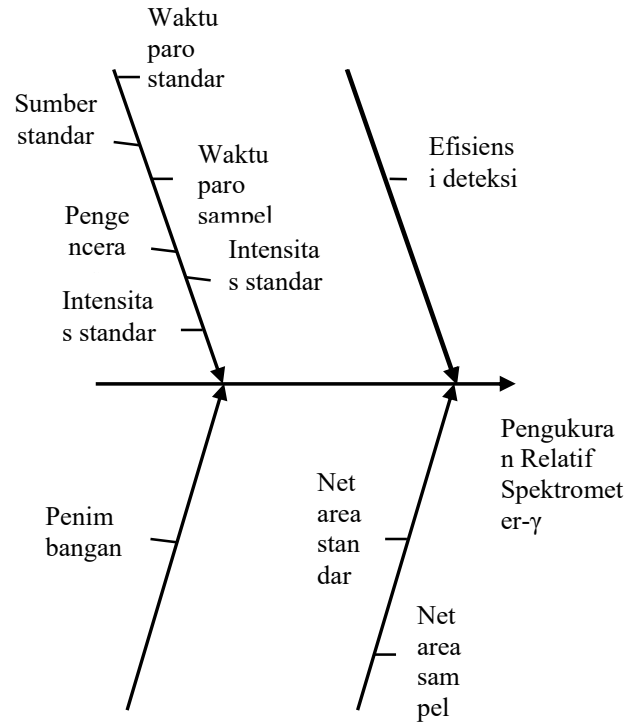
Dari tabel di atas terlihat bahwa hasil pengukuran aktivitas rata-rata Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod setelah dikalikan dengan Faktor Pengenceran 10,487488 pada kedua sampel adalah (5414,46 ± 2,97%) Bq/mg. Sedangkan hasil pengukuran aktivitas rata-rata ⁵⁷Co bentuk titik (point source) adalah (5431,64 ± 2,15%) Bq/mg, bentuk cair tanpa pengenceran: (5434,12 ± 3,11%) Bq/mg, bentuk cair dengan pengenceran (5460,07 ± 3,13%) Bq/mg. Perbedaan aktivitas jenis Bentuk Rod dan bentuk cair tanpa pengenceran sebesar 2,1% dan perbedaan aktivitas untuk 2 (dua) sampel bentuk Rod sebesar 0,29%. Spektrum Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod. 122,06065 (12) keV dan 136,47356 (29) keV [6] menggunakan spektrometer gamma disajikan pada Gambar 5



Gambar 5. Spektrum Sumber Standar ⁵⁷Co Bentuk Rod

Komponen-komponen ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe terdiri dari komponen-komponen : sumber standar, umur paro sumber standar, intensitas standar, net area standar, efisiensi

deteksi, umur paro sampel, net area sampel, penimbangan dan Faktor Pengenceran. Komponen-komponen tersebut dapat digambarkan dalam diagram alir sebab akibat penentuan ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co seperti disajikan pada Gambar di bawah



Gambar 6. diagram alir sebab akibat penentuan ketidakpastian pengukuran ⁵⁷Co bentuk rod

Tabel 3. Komponen ketidakpastian pengukuran aktivitas. ⁵⁷Co bentuk rod

Komponen	Ketidakpastian (%)
Sertifikat sumber standar ¹⁵² Eu	2,5
Umur paro sumber standar ¹⁵² Eu	0,118
Efisiensi Deteksi sumber standar ¹⁵² Eu	1,1
Net area sumber standar ¹⁵² Eu	0,27
Intensitas sumber standar ¹⁵² Eu	0,71
Net area sampel ⁵⁷ Co	0,85
Umur paro sampel ⁵⁷ Co	0,0184
Intensitas sampel ⁵⁷ Co	0,07
Penimbangan	0,25
Faktor pengenceran	0,05
Ketidakpastian gabungan	2,97
Tingkat kepercayaan 95%	

Pada tabel tersebut dapat dilihat ketidakpastian gabungandari beberapa komponen ketidakpastian pengukuran Aktivitas ⁵⁷Co Bentuk Rod menggunakan spektrometer gamma HPGe sebesar 2,97%

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang dapat diambil kesimpulan: PTKMR Batan telah mampu membuat Sumber Standar ^{57}Co Bentuk Rod untuk memenuhi kebutuhan kedokteran nuklir dengan ketidakpastian pengukuran sebesar 2,97%

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Group Penelitian Standardisasi Radionuklida, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN pada atas kerjasamanya pada penelitian ini dalam pengembangan dibidang Metrologi Radiasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jika Nicholas Tsoufanidis, *Measurements and Detection of Radiation*, University of Missouri-Rolla, 1983
- [2] NCRP Report No.58, *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, National Council on Radiation Protection and Measurements, November 1978
- [3] Lowenthal. Oakley, *Standardization of Radioactivity*, General Nucleonics Division, Australia Atomic Energy Commission, 1966
- [4] M.E.C Troughton, *The Absolute Standardization of Cobalt-57*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 17 (1966) pp 145-150
- [5] S.B.Garfinkel, J.M.R Hutchinson, *The Standardization of Cobalt-57*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 17 (1966) pp 587-593
- [6] D. Novkovic, A.Kandic, I. Vukanac, M.Durasevic, Z. Milosevic, *The direct measurement of ^{57}Co activity by the sum-peak method*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 70 (2012) pp 2154-2156
- [7] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Standardisasi Radionuklida ^{57}Co* , Prosiding Annual Meeting on Testing and Quality 2014 Pusat Penelitian Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, (2014)
- [8] TdeR, 2005 Laboratoire National Henry Becquerel LNE-LNHB/CEA, Table de Radionuclides, Recommended Data/table, Atomic and Nuclear Data, 2005, http://www.nucleide.org/D/DEP_WG/DDEPdata.htm
- [9] Han-Yull Hwang, Ki Suk Sung, K.B. Lee, Jong Man Lee, Tae Soon Park, *Standardization of radionuclide by $\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting using the geometry-efficiency variation method*, Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 64 (2006) pp 1119-1123
- [10] K.B. Lee, Jong Man Lee, Tae Soon Park, Pil Jei Oh, Sang Han Lee, Min Kie Lee, *Application of digital sampling techniques for $4\pi\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting*, Journal Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 626-627(2011)72
- [11] D.B. Kulkarni, R.Anuradha, Leena Joseph, BS. Tomar, *Development of liquid scintillation based $4\pi\beta(\text{LS})$ - γ coincidence counting system and demonstration of its performance by standardization of ^{60}Co* , Journal Applied Radiation and Isotopes, Vol: 72 (2013) pp 68-72
- [12] P.J. Campion, *The Standardization of Radioisotopes by the Beta-Gamma Coincidence Method Using High Efficiency Detectors*, International Journal of Applied Radiation and Isotopes, Vol.4 (1959) pp. 232-248
- [13] ICRU Report 52, *Particle Counting in Radioactivity Measurements*, International Commission on Radiation Units and Measurements, (1994)
- [14] Schrader, H. 1997, *Activity Measurements with ionization Chambers*, Monographie BIPM-4, Bureau International des poids et Mesures, sevres, France
- [15] Capintec, Inc, *CRC-7BT Radioisotope Calibrator*, Owner Manual
- [16] Hermawan Candra, *Performance Evaluation of Commercial Radionuclide Calibrators in Indonesians Hospitals*, Proceedings of the 18th International Conference on Radionuclide Metrology and its Applications, Proceedings of the 18th International Conference, Applied Radiation and Isotopes, Volume 70, Issue 9, September 2012, ISSN 0969-8043
- [17] K. Debertin And RG. Helmer, *Gamma and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector*, 1988
- [18] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Pengaruh efek geometri padakalibrasi efisiensi detector semikonduktor HPGe menggunakan spectrometer gamma* Seminar Nasional Fisika 2010 –Himpunan Fisikawan Indonesia (HFI) di Universitas Diponegoro, 10 APRIL 2010
- [19] WISNU SUSETYO, *Instrumentasi Nuklir II*, BATAN
- [20] ISO/IEC Guide 98-3:2008 *Uncertainty of measurement -- Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995)
- [21] BIPM, *Procedures for Accurately Diluting and Dispensing Radioactive Solutions*
- [22] Hermawan Candra, *Kalibrasi Efisiensi Sistem Pencacah Kamar Pengionan 4π - γ Merlin Gerin Sebagai Alat Standar Sekunder Pengukuran Aktivitas Menggunakan Sumber Standar Cair*, Prosiding Seminar Nasional Sains MIPA dan Aplikasinya, 2010
- [23] Hermawan Candra, Pujadi, Gatot Wurdianto, *Metode Statistik Untuk Penentuan Luas Puncak Serapan Total Pada Kalibrasi*

Efisiensi Menggunakan Spektrometer Gamma, Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir II, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta 29 Juli 2008

[24] Hermawan Candra, *Pembuatan Sumber Standar ⁵⁷Co Sebagai Simulator Tc-99m Dengan Spektrometer Gamma*, Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan V, 2009

NO	Nama penanya	Kode Makalah	Nama Penyaji	Pertanyaan dan Jawaban
1.	Hendry Arka Ramadan (STTN-BATAN)	OA12	Hermawan Candra (BATAN)	Apakah Co-57 sebagai standar bias digunakan dalam dunia industry? Jika tidak bias, apakah dalam menggunakan sebuah standar di dunia industry dan medis memiliki persyaratan yg berbeda sesuaikandg alat yg digunakan? Jawab: Sumber standar Co-57 bisa digunakan dalam berbagai bidang industry dengan syarat. Sumber standar menyesuaikan dg alat yg digunakan dlm bidang industry tsb. Selain itu bentuk geometri harus sama/mendekati sampel yg digunakan untuk percobaan.