

PENGARUH MATRIKS TERHADAP PENCACAHAN SAMPEL MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA

WAHYUDI ^{*)}, DADONG ISKANDAR ^{*)}, DJOKO MARJANTO ^{**)}

^{*)} Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebak Bulus raya No.49 Jakarta 12070

Telepon 021-7513906, Faksimili 021-7657950

^{**)} Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN

Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 YKBB Yogyakarta 55281

Telepon 0274-484085, 489716, Faksimili 0274-489715

Abstrak

PENGARUH MATRIKS TERHADAP SISTEM PENCACAHAN SAMPEL MENGGUNAKAN SPEKTROMETER GAMMA. Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh matriks terhadap pencacahan sampel menggunakan spektrometer gamma. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh matriks terhadap sistem pencacahan. Bahan yang digunakan adalah sumber standar *Solution 2908* yang merupakan sampel hasil interkomparasi dengan IAEA terdiri dari ⁵⁴Mn, ⁶⁰Co, ⁶⁵Zn, ¹⁰⁹Cd, ¹³³Ba, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, dan ²⁴¹Am dan larutan standar yang terdiri dari ¹³³Ba, ¹⁵²Eu, dan ²⁴¹Am. Sumber standar tersebut mempunyai rentang energi dari 59 keV sampai 1408 keV. Matriks yang digunakan berupa rumput, abu rumput, *sludge*, air, tanah, pasir, pasir silika, dan pasir vulkanik dengan rentang densitas dari 0,226 g/cm³ sampai 1,760 g/cm³. Matriks yang telah diberi larutan radioaktif ini kemudian dimasukkan dalam vial ID 57 mm H 50 mm. Hasil pengujian dengan *t-test* menunjukkan bahwa seluruh radionuklida terdistribusi merata dalam setiap matriks. Data awal menunjukkan bahwa densitas matriks berpengaruh secara signifikan pada sistem pencacahan spektrometer gamma, terutama pada energi rendah. Semakin besar densitas maka efisiensi pencacahan akan menurun. Validasi hasil penelitian ini, memberikan nilai penyimpangan < 5%, yang dianggap baik berdasarkan ketentuan batasan dari IAEA, yaitu < 8%.

Kata kunci : variasi matriks, spektrometer gamma, efisiensi pencacahan.

Abstract

STUDY ON THE MATRIX EFFECTS ON THE SAMPLES COUNTING USING GAMMA SPECTROMETER. The study on matrix effects on the samples counting using gamma spectrometer had been carried out. The objective of the research was to know the effects of the samples matrix to counting system. The standard sources used in this study were IAEA Solution 2908 and a solution contained ¹³³Ba, ¹⁵²Eu, and ²⁴¹Am (In the study, the IAEA Solution 2908 IAEA Solution 2908 is a radioactive solution used in IAEA proficiency test. The materials of the matrices were grass, ash of grass, sludge, water, soil, sand, silica sand, and volcanic sand with density ranges from 0.226 g/cm³ to 1.760 g/cm³. The matrixes contained of standard sources were put into vial ID 57 mm H 50 mm. The result of *t-test* indicated that the radionuclides were homogeneously distributed in the matrixs. The study shows that the matrix variation significantly influent to the efficiency of gamma spectrometer counting system, especially in low gamma energy. The higher density would decrease the counting efficiency. Validation result of the research gave deviation value < 5% According to IAEA certainty, it was considered reliable.

Keywords: matrix variation, gamma spectrometer, counting efficiency.

PENDAHULUAN

Meningkatnya kepedulian masyarakat akan keselamatan lingkungan khususnya terhadap pencemaran radiasi menyebabkan meningkatnya permintaan analisis terhadap cemaran zat radioaktif di Laboratorim Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan (Lab. KKL) pada Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) - BATAN. Parameter analisis yang diminta sebagian besar berupa konsentrasi zat radioaktif pemancar radiasi gamma di antaranya adalah ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{192}Ir , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , dan ^{40}K . Sebagai laboratorium penguji, Lab. KKL sudah selayaknya memberi pelayanan terbaik berupa penyajian data hasil pengujian dengan cepat dan akurat.

Pada analisis zat radioaktif dengan spektrometer gamma, hasil yang tebaik adalah dengan metode relatif. Metode tersebut dapat dilakukan apabila faktor geometri sampel sama dengan standar, namun hal tersebut sulit dan mahal kaarena metode ini membutuhkan jumlah sumber standar yang banyak. Bagi negara maju kebutuhan akan sumber standar pengukuran tidak menjadi masalah, karena didukung kemampuan ekonomi sehingga sumber standar dapat diadakan secara berkala. Untuk negara berkembang seperti Indonesia, pembuatan sumber standar pengukuran yang mendekati faktor geometri sampel yang hendak dianalisis merupakan solusi untuk mendukung kegiatan pengukuran sampel lingkungan.

Pada penelitian ini akan dibuat standar pengukuran yang berisi campuran ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , dan ^{241}Am dalam matriks rumput, air, dan tanah. Campuran radionuklida ^{133}Ba , ^{152}Eu , dan ^{241}Am dibuat dalam matriks abu rumput, *sludge*, air, pasir, pasir silika, dan pasir vulkanik. Sumber standar yang dibuat dalam matriks ditempatkan dalam wadah vial dengan diameter dalam 57 mm dan tinggi sumber standar 50 mm. Sumber standar yang dibuat digunakan untuk kalibrasi sistem spektrometer gamma dengan detektor HPGe (*High Purity Germanium*) atau Germanium kemurnian tinggi.

Sumber standar yang dibuat, divalidasi untuk mengetahui keakuratan, sehingga hasil analisis terhadap sampel akan lebih akurat, cepat, dan tertelusur secara nasional atau internasional^[1]. Validasi sumber standar dilakukan dengan menggunakan CRM (*certificate reference material*) dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*) berupa ^{137}Cs dalam matriks rumput dan matriks tanah.

Nuklida yang tidak stabil disebut radioaktif karena memancarkan radiasi. Nuklida yang radioaktif ini akan meluruh dan berubah menjadi nuklida lain setelah memancarkan radiasi. Proses peluruhan ini disebut peluruhan radioaktif.^[2] Ketidakstabilan nuklida yang berakibat pemancaran radiasi disebut radioaktivitas. Radioaktivitas ada yang berasal dari alam yang disebut radioaktivitas alam dan karena hasil olah manusia yang disebut radioaktivitas buatan. Radiasi yang dipancarkan nuklida tersebut berupa radiasi partikel alfa, radiasi beta dan radiasi gamma.

Sinar gamma merupakan gelombang elektromagnetik monokromatik yang terpancar dari inti-inti atom yang mengalami aktivasi setelah mengalami transformasi radioaktif. Sinar gamma memberikan suatu mekanisme yang membuang energi pengaktifan dari inti yang mengalami aktivasi. Jika sinar gamma mengenai suatu materi maka ia akan kehilangan sebagian energinya. Kehilangan energi ini dapat terjadi melalui efek fotolistrik, hamburan *compton*, dan proses produksi pasangan.^[3,4]

Spektrometer gamma adalah suatu alat yang dapat digunakan untuk melakukan analisis zat radioaktif yang memancarkan radiasi gamma. Setiap radionuklida mempunyai tenaga yang berbeda dan tertentu dan bersifat spesifik. Hal ini digunakan sebagai dasar dalam analisis secara kualitatif. Analisis secara kuantitatif dilakukan berdasarkan nilai cacahan dari spektrum yang dipancarkan. Untuk keperluan analisis kualitatif maupun kuantitatif diperlukan CRM yang merupakan bahan acuan bersertifikat sehingga hasil pengujian tertelusur ke standar nasional maupun internasional.^[1]

Sebelum digunakan dalam pengukuran, terlebih dahulu sistem spektrometer gamma dikalibrasi dengan sumber standar untuk menentukan hubungan antara nomor salur dan energi gamma (keV)^[4,5], secara umum hubungan antara nomor salur dengan energi gamma merupakan hubungan yang linier dan dapat ditentukan dengan Persamaan (1).

$$Y = a + bX \quad (1)$$

dengan : Y adalah energi gamma (keV), a dan b adalah bilangan konstanta linier, dan X adalah nomor salur (*channel*)

Efisiensi tiap-tiap energi gamma mempunyai nilai tertentu dan untuk menghitung efisiensi tiap-tiap energi digunakan Persamaan (2).^[4,6]

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{(N_s - N_{BG})}{A_t \cdot p_{\gamma}} \quad (2)$$

dengan: ε_{γ} adalah efisiensi pada energi gamma teramati (%), N_s adalah laju cacah standar (cacah per waktu), N_{BG} adalah laju cacah latar (cacah per waktu), A_t adalah aktivitas pada saat pengukuran (Bq), dan P_{γ} adalah yield energi gamma tertentu (%).

Faktor geometri yang mempengaruhi pengukuran sampel lingkungan pada sistem spektrometer gamma di antaranya adalah faktor bentuk sumber. Hal ini terkait dengan wadah sumber, jarak antara detektor dengan sumber, komposisi matriks, dan rapat jenis sumber.^[7,8]

Untuk memperoleh hasil yang baik pada pengukuran zat radioaktif dengan volume sampel yang besar memerlukan bentuk geometri sampel mendekati geometri standar.^[7] Untuk memperoleh sumber standar dengan bentuk

geometri mendekati sampel relatif sulit dan mahal. Karena itu pada pemilihan wadah dan pengaturan jarak antara standar dengan detektor pada setiap pengukuran, diusahakan sama.

Sinar gamma bila melewati suatu materi akan mengalami pengurangan intensitas yang disebabkan oleh penyerapan bahan. Besarnya penyerapan bahan disebut koefisien serapan diri (*self absorption coefficient*). Pada beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan studi mengenai pengaruh koefisien serapan diri.^[7,8] Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh variasi matriks terhadap pencacahan sampel menggunakan spektrometer gamma. Penelitian dilakukan dengan membuat sumber standar dari beberapa bahan matriks yang bervariasi. Secara empiris faktor geometri yang paling berpengaruh adalah densitas dari matriks sumber standar.^[9]

Konsentrasi zat radioaktif dalam sampel pada pengukuran dengan sistem spektrometer gamma ditentukan dengan Persamaan (3):^[10] dan ditampilkan seperti pada Persamaan (4).

$$C_{\text{avg}} = \frac{N_{\text{Sp}} - N_{\text{BG}}}{\epsilon_{\gamma} \cdot p_{\gamma} \cdot w_{\text{Sp}}} \quad (3)$$

$$C_{\text{Sp}} = C_{\text{avg}} \pm U_{\text{T}} \quad (4)$$

dengan : N_{Sp} adalah laju cacah sampel (cacah per detik), N_{BG} adalah laju cacah latar (cacah per detik), ϵ_{γ} adalah efisiensi pada energi gamma teramati (%), p_{γ} adalah *yield* dari energi gamma teramati (%), dan w_{Sp} adalah berat sampel (kg), C_{Sp} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel terkoreksi (Bq/kg), C_{avg} adalah konsentrasi zat radioaktif dalam sampel rata-rata (Bq/kg), dan U_{T} adalah ketidakpastian pengukuran yang diperluas (Bq/kg).

U_{T} atau ketidakpastian pengukuran yang diperluas dapat dilihat pada Persamaan (5),

$$U_{\text{T}} = C_{\text{avg}} \times \sqrt{\left[\frac{u_{\text{Sp}}^2 + u_{\text{B}}^2}{(N_{\text{Sp}} - N_{\text{BG}})^2} \right] + \left(\frac{u_{\text{E}}}{\epsilon_{\gamma}} \right)^2 + \left(\frac{u_{\text{P}}}{p_{\gamma}} \right)^2 + \left(\frac{u_{\text{W}}}{w_{\text{Sp}}} \right)^2} \quad (5)$$

dengan : u_{Sp} adalah ketidakpastian pencacahan sampel (%), u_{B} adalah ketidakpastian pencacahan latar (%), u_{E} adalah ketidakpastian dari efisiensi pada energi teramati (%), u_{P} adalah ketidakpastian dari *yield* (%), dan u_{W} adalah ketidakpastian dari berat sampel (%).

Validasi suatu sumber standar dilakukan dengan pengukuran menggunakan sampel standar material (*certificate reference material*, CRM) atau melakukan antar banding pengukuran dengan laboratorium yang mempunyai tingkat

ketelitian yang setara atau lebih tinggi.^[1] Teknik lain untuk validasi ini adalah dengan mengikuti kegiatan uji profisiensi yang diadakan suatu laboratorium. Uji profisiensi biasanya dikoordinasi oleh suatu laboratorium standar nasional atau internasional. Dari hasil uji profisiensi akan diketahui kemampuan suatu laboratorium dalam melakukan analisis sampel yang dikirim oleh koordinator. Laporan yang diterbitkan suatu koordinator mempunyai kriteria hasil pengujian suatu laboratorium peserta, diterima atau ditolak.

Faktor yang menentukan kriteria keberterimaan uji yaitu perbedaan terhadap nilai benar (*true value*) yang dalam laporan ini sebagai acuan adalah CRM dari IAEA. Perbedaan nilai hasil kedua laboratorium dapat ditulis dengan Persamaan (6):^[11]

$$\% \text{Bias} = \frac{C_{\text{KMR}} - C_{\text{IAEA}}}{C_{\text{IAEA}}} \times 100\% \quad (6)$$

dengan : % Bias adalah perbedaan nilai aktivitas antara PTKMR dengan IAEA (%), C_{IAEA} adalah nilai aktivitas CRM dari IAEA (Bq/kg), dan C_{KMR} adalah hasil pengukuran sampel di PTKMR (Bq/kg)

Dari hasil pengujian dilakukan evaluasi untuk menentukan kriteria keberterimaan berdasarkan nilai presisi (P). Nilai presisi untuk dapat memenuhi kriteria adalah $P \leq 8\%$, besarnya nilai P ditentukan dengan Persamaan (7):^[11]

$$P = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{IAEA}}}{C_{\text{IAEA}}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\text{KMR}}}{C_{\text{KMR}}}\right)^2} \times 100\% \quad (7)$$

Dari perbedaan pengukuran yang dilakukan oleh kedua laboratorium tersebut dapat ditentukan kinerja suatu laboratorium peserta secara kuantitatif (Z_{score} atau Z). Nilai Z ditentukan dengan Persamaan (8):^[12]

$$|Z| = \frac{\% \text{Bias}}{\sqrt{(U_{\text{KMR}}^2 + U_{\text{IAEA}}^2)}} \quad (8)$$

dengan : $|Z|$ adalah nilai kuantitatif hasil uji profisiensi, U_{KMR} adalah nilai ketidakpastian hasil pengukuran oleh PTKMR (%), dan U_{IAEA} adalah nilai ketidakpastian dari IAEA (%)/ Bila nilai $Z \leq 2$ maka hasil uji profisiensi memuaskan, bila $2 < Z < 3$ dipertimbangkan, sedangkan jika nilai $Z \geq 3$ tidak memuaskan.

METODE PENELITIAN

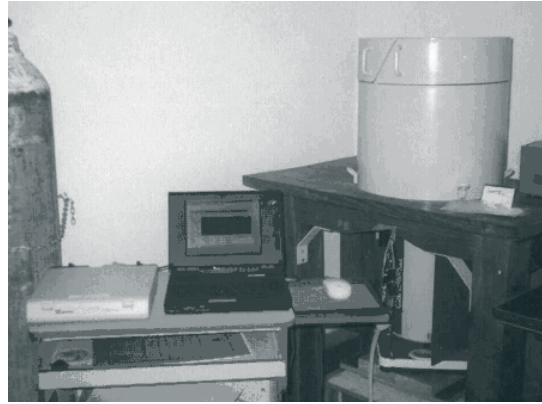
Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan adalah larutan kode *Solution 2908* untuk uji profisiensi oleh IAEA pada tahun 2005. Larutan tersebut berisi campuran radionulida ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , dan ^{241}Am . Zat radioaktif lain yang digunakan adalah larutan berisi campuran radionuklida ^{133}Ba , ^{152}Eu , dan ^{241}Am . Sebagai pelarut digunakan HCl 0,1-0,5N supaya zat radioaktif homogen dan tidak menempel pada dinding wadah sebelum dicampur dengan matriks.^[12] Matriks yang digunakan adalah rumput, abu rumput, *sludge*, air, tanah, pasir, pasir silika dan pasir vulkanik. Matriks abu dan rumput mempunyai ukuran butiran lolos 60 mesh sedangkan matriks *sludge*, tanah, pasir, pasir silika dan pasir vulkanik lolos 100 mesh.

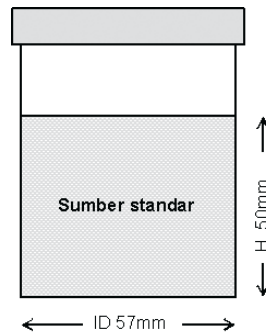
Alat utama pada penelitian ini adalah spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe jenis koaksial tipe GC-2020 seperti pada Gambar 3. Detektor HPGe didinginkan dengan nitrogen cair dan dioperasikan pada tegangan kerja 3000 volt positif. Alat tersebut mempunyai efisiensi relatif 24,6 % dengan resolusi 1,8 keV FWHM pada energi gamma 1332,5 keV.^[13] Detektor diletakkan dalam sistem *shielding* dengan bahan Pb setebal 5 cm serta dilapisi plat Cu setebal 3 mm. Sistem spektrometer gamma tersebut ditempatkan di ruang bawah tanah yang bertujuan untuk mengurangi pengaruh radiasi lingkungan. Alat lain yang digunakan berupa neraca analitis buatan Shimadzu, oven buatan Memmert, *furnace* buatan *Thermolyne*, ayakan buatan MBT yang memenuhi standar ASTM-USA, lampu pemanas dan alat laboratorium lain. Sarana lain adalah berupa laboratorium radiokimia untuk bekerja dengan zat radioaktif, serta ruang pengukuran yang berada di bawah tanah.

Tata Kerja

Larutan standar yang telah diketahui aktivitasnya dicampur dengan matriks secara basah, lalu didiamkan selama 24 jam. Campuran sumber standar dan matriks kemudian dikeringkan di bawah pemanasan lampu infra merah, lalu ditempatkan ke dalam vial. Setiap variasi matriks diuji homogenitasnya untuk mengetahui distribusi zat radioaktif dalam matriks. Setelah dianggap homogen sumber standar digunakan untuk kalibrasi efisiensi pada variasi matriks dan dilakukan validasi.



Gambar 1. Sistem Spektrometer Gamma dengan Detektor HPGe Model GC-2020
Buatan Camberra-USA.



Gambar 2. Vial yang Digunakan untuk Menempatkan Sumber Standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karena *Solution 2908* hanya terdapat dalam jumlah sedikit, sedangkan pada penelitian ini akan dibuat beberapa buah sumber standar dengan variasi matriks, maka diperlukan prioritas pemilihan matriks dan sumber standar yang dibuat. Sumber standar dari *Solution 2908* dibuat dalam 3 matriks yaitu dalam matriks rumput, air, dan tanah dengan aktivitas dan ketidakentuan seperti pada Tabel 1. Sebagai matriks lain digunakan radionuklida ^{133}Ba , ^{152}Eu , dan ^{241}Am seperti pada Tabel 2. Pemilihan matriks didasarkan pada CRM untuk validasi sumber standar. Sebagai validasi digunakan CRM dari IAEA berupa *Grass-373* yang di dalamnya terdapat ^{137}Cs dengan aktivitas 12350 Bq/kg dan *Soil-375* yang di dalamnya terdapat ^{137}Cs dengan aktivitas 5280 Bq/kg pada 31 Desember 1991.

Tabel 1. Aktivitas Sumber Standar yang Dibuat dari *Solution 2908*

Kode Matriks Nuklida	GM-011V		GM-012V		GM-013V	
	Rumput		Air (HCl 0,1N)		Tanah	
	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)
Mn-54	135,62	0,82	139,53	0,85	121,02	0,74
Zn-65	351,78	3,68	361,92	3,79	313,90	3,29
Co-60	215,48	1,94	221,69	2,00	192,27	1,73
Cd-109	350,03	2,42	360,12	2,49	312,33	2,16
Ba-133	169,07	1,12	173,94	1,16	150,86	1,00
Cs-134	51,29	0,47	52,76	0,48	45,76	0,42
Cs-137	52,85	0,37	54,37	0,38	47,15	0,33
Pb-210	355,88	2,23	366,14	2,30	317,55	1,99
Am-241	225,03	1,75	231,52	1,80	200,80	1,57

Catatan : Aktivitas tanggal 1 Oktober 2004.

Tabel 2. Aktivitas ^{133}Ba , ^{152}Eu dan ^{241}Am kode GM-014V sampai GM-019V

Kode Tanggal Acuan	Nuklida					
	Am-241		Ba-133		Eu-152	
	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)	Aktivitas (Bq)	Unct. (Bq)
GM-014V 23-11-2006	565,04	10,52	981,73	10,82	1422,45	25,55
GM-015V 23-11-2006	506,30	9,12	998,08	10,25	1484,83	29,05
GM-016V 23-11-2006	593,97	13,46	992,22	10,02	1454,23	25,67
GM-017V 17-11-2006	644,03	16,50	986,34	11,48	1438,70	24,30
GM-018V 23-11-2006	612,85	21,51	1001,14	11,43	1449,13	24,95
GM-019V 17-11-2006	585,36	10,22	980,47	6,51	1452,53	28,79

Untuk melengkapi data penelitian ini, maka untuk matriks lain digunakan sumber standar yang terdiri dari ^{133}Ba , ^{152}Eu , dan ^{241}Am . Ketiga radionuklida itu mempunyai rentang energi yang cukup lebar yaitu dari 59 keV sampai 1408 keV. Pertimbangan lain adalah ketiga radionuklida tersebut mempunyai waktu paro cukup panjang sehingga sumber standar yang dibuat dapat digunakan di laboratorium dalam waktu cukup lama.

Pencampuran sumber standar dengan bahan matriks dilakukan secara basah. Sumber standar yang telah dibuat dalam bentuk cair yaitu dalam larutan asam dicampur dengan bahan matriks. Pencampuran dilakukan dengan menuangkan bahan matriks ke dalam larutan sumber standar sedikit demi sedikit sampai seluruh bahan tercampur. Campuran diaduk-aduk dengan pengaduk

stainless steel sampai diperkirakan matriks tercampur sempurna dengan sumber standar, kemudian didiamkan selama 24 jam supaya sumber standar meresap ke dalam bahan matriks. Dari hasil pengujian (Tabel 3), homogenitas sumber standar yang dibuat dalam berbagai matriks seluruhnya homogen. Hal ini menunjukkan bahwa pencampuran yang dilakukan dengan metode basah sudah baik.

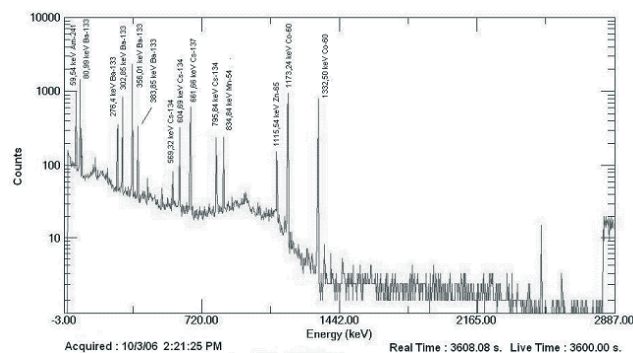
Spektrum hasil pencacahan dengan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe pada sumber standar GM-012V dapat dilihat pada Gambar 3. Beberapa *software* dalam sistem spektrometri gamma telah dilengkapi dengan *library* radionuklida berdasarkan energinya, sehingga setiap puncak yang muncul akan diinformasikan sesuai dengan *library*-nya.

Tabel 3. Data Matriks dan Radionuklida yang Digunakan dalam Penelitian

No.	Kode Standar	Bahan matriks	Berat matriks (gram)	Rapat jenis (g/cm^3)	Jum. Nuklida	Hasil pengujian homogenitas
1.	GM-011V	Rumput	28,21	0,226	9	Homogen
2.	GM-012V	Air (HCl 0,1N)	125,00	1,000	9	Secara teoritis homogen
3.	GM-013V	Tanah	138,92	1,111	9	Homogen
4.	GM-014V	Abu rumput	54,63	0,437	3	Homogen
5.	GM-015V	<i>Slduge</i>	93,26	0,746	3	Homogen
6.	GM-016V	Air (HCl 0,1N)	125,00	1,000	3	Secara teoritis homogen
7.	GM-017V	Pasir	172,98	1,384	3	Homogen
8.	GM-018V	Pasir silika	201,09	1,609	3	Homogen
9.	GM-019V	Pasir vulkanik	220,00	1,760	3	Homogen

Catatan :

- Radionuklida dalam standar GM-011V s/d GM-013V adalah ^{54}Mn , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{210}Pb , dan ^{241}Am .
- Radionuklida dalam standar GM-014V s/d GM-019V adalah ^{133}Ba , ^{152}Eu , dan ^{241}Am .

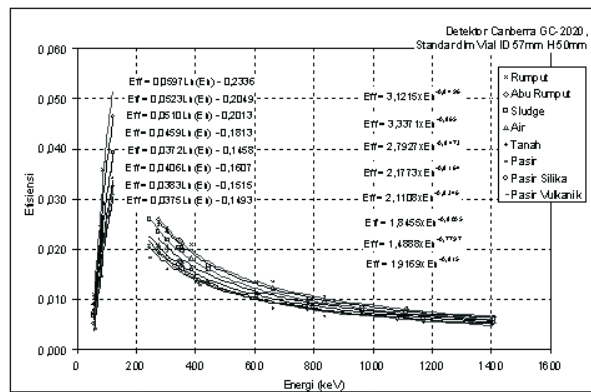


Gambar 3. Spektrum dari Standar *Solution 2908* Dicacah Menggunakan Spektrometer Gamma dengan Detektor HPGe.

Agar hasil analisis lebih teliti, penggunaan tabel energi akan banyak membantu. Pada tabel energi akan terlihat jenis nuklida yang ada dalam sampel dan kemungkinan energi lain yang berdekatan dengan energi nuklida yang dianalisis

Kalibrasi efisiensi spektrometer gamma yang dilengkapi dengan detektor HPGe mempunyai karakteristik tersendiri. Pada energi rendah 59 keV efisiensinya rendah lalu naik dengan tajam bersamaan dengan naiknya energi gamma, kemudian turun secara eksponensial. Efisiensi tertinggi dari detektor HPGe diperkirakan pada energi 140 keV, sehingga energi ini disebut sebagai *knee*.

Bentuk kurva kalibrasi efisiensi akan lebih baik, jika sumber standar yang digunakan mempunyai energi dengan sebaran yang lengkap, sehingga titik-titik pada kurva kalibrasi dapat dibuat dengan sempurna. Pada kurva ini terdapat kekosongan pada energi 125 sampai 250 keV, padahal pada daerah tersebut kelengkungan kurva cukup kritis dan sulit untuk diprediksi. Kurva kalibrasi ini akan lebih baik jika pada rentang energi 125 keV sampai 250 keV terdapat data efisiensi secara eksperimen untuk menghubungkan kurva efisiensi. Pada Gambar 4 dapat dilihat kurva hubungan antara efisiensi dengan energi untuk setiap variasi matriks.



Gambar 4. Kurva Kalibrasi Efisiensi Detektor HPGe dengan Sumber Standar Variasi Matriks dalam Wadah Vial ID 57 mm H 50 mm.

Kurva itu menunjukkan bahwa setiap jenis matriks yang berbeda mempunyai efisiensi pencacahan yang berbeda. Kurva tersebut dapat digunakan untuk analisis sampel dengan kondisi mendekati komposisi matriks standar. Sebagai contoh untuk analisis sampel tanah, maka sebaiknya digunakan sumber standar dalam matriks tanah, begitu juga untuk sampel yang lain. Analisis ini dapat juga disebut metode pendekatan jenis sampel dengan matriks standar. Seandainya komposisi sampel yang dianalisis tidak ada kedekatan dengan komposisi matriks standar, maka sebagai solusinya dapat digunakan kurva hubungan antara efisiensi dengan densitas matriks. Gambar 4 menunjukkan bahwa dari 8 matriks yang dibuat setelah dibuat kurva hubungan antara efisiensi dengan energi untuk setiap

variasi matriks mempunyai hubungan exponential. Hal ini menunjukkan bahwa jenis matriks mempengaruhi efisiensi pencacahan. Data ini masih awal, karena hanya dibuat satu buah sumber standar untuk setiap variasi matriks. Untuk mengetahui lebih jauh hubungan efisiensi pencacahan dengan densitas matriks maka dapat dibuat variasi densitas matriks untuk jenis matriks yang sama.

Dari kurva efisiensi ini dapat diambil kesimpulan jenis matriks berpengaruh pada penentuan efisiensi pencacahan menggunakan spektrometer gamma, sehingga untuk analisis sebaiknya memperhatikan jenis matriks dan faktor geometri.

Untuk mengetahui validitas sumber standar yang dibuat, perlu dilakukan uji keakuratan.^[1,12] Sumber standar yang digunakan untuk validasi yaitu CRM dari IAEA berupa ¹³⁷Cs dalam matriks rumput dan tanah. Radionuklida ¹³⁷Cs mempunyai waktu paro yang panjang yaitu 30 tahun, sehingga radionuklida tersebut banyak digunakan sebagai acuan. Radionuklida ¹³⁷Cs juga digunakan sebagai sumber standar dalam melakukan pengecekan respon detektor pada sistem spektrometer gamma secara berkala.

Tabel 4. Hasil Validasi Sumber Standar dengan CRM dari IAEA Berupa *Grass-373* dan *Soil-375*

Ref. mat	Grass-373 32,41 gr	Soil-375 168,80 gr
Akt 31-12-91 (Bq)	385,44	912,67
Lab.KKL- (Bq/kg)	11892,76	5406,80
PTKMR Unct. (Bq/kg)	269,46	123,61
Unct (%)	2,27	2,29
Akt.31-12-91 (Bq/kg)	12350	5280
Sertifikat dari Unct (Bq/kg)	220	80
IAEA Unct (%)	1,78	1,52
Bias (%)	-3,70	+ 2,40
Presisi (%)	2,88	2,74
Zscore	1,28	0,88

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan terhadap validasi sumber standar diperoleh hasil yang cukup baik yaitu penyimpangannya di bawah 5%. Untuk matriks tanah diperoleh perbedaan sebesar +2,40%; sedangkan untuk matriks rumput terdapat perbedaan sebesar -3,70%. Nilai perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh berat sampel yang cukup kecil, yaitu berat matriks rumput lebih sedikit dibandingkan berat tanah sehingga kesalahan pada analisis matriks rumput lebih besar dibandingkan dengan analisis pada matriks tanah.

Dari perhitungan terhadap presisi sumber standar CRM dari IAEA diperoleh nilai di bawah 8%. Hal ini menurut IAEA memenuhi syarat keberterimaan untuk pengukuran standar (IAEA, 2005). Hasil perhitungannya untuk nilai-Z atau Z_{score} diperoleh nilai $Z_{score} \leq 2$, hal ini menunjukkan bahwa hasil pengukuran aktivitas CRM yang dilakukan Lab. KKL - PTKMR memuaskan.^[12] Dari hasil validasi

tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa sumber standar yang dibuat dalam variasi matriks dapat digunakan untuk analisis sampel lingkungan dengan kondisi yang beragam.

Pada penelitian ini baru dibuat sumber standar variasi matriks yang ditempatkan dalam wadah vial (Gambar 5). Pada penelitian yang akan datang dapat dikembangkan untuk menggunakan wadah yang lebih representatif seperti wadah *Marinelli*. Hal tersebut perlu dilakukan untuk mengatasi faktor kesalahan sumber standar bentuk matriks air.



Gambar 5. Sumber Standar dengan Variasi Matriks yang Ditempatkan Dalam Vial.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Efisiensi pencacahan sampel menggunakan spektrometer gamma dipengaruhi oleh jenis matriks. Densitas matriks berpengaruh secara signifikan pada sistem pencacahan spektrometer gamma, terutama pada energi rendah. Semakin besar densitas maka efisiensi pencacahan akan menurun.
2. Validasi sumber standar yang dibuat dengan CRM dari IAEA berupa *Grass-373* dan *Soil-375* diperoleh hasil yang memuaskan, yaitu dengan memberikan nilai penyimpangan $< 5\%$, yang dianggap baik berdasarkan ketentuan batasan dari IAEA, yaitu $< 8\%$.

SARAN

1. Mengingat pengaruh matriks terhadap pencacahan sampel menggunakan spektrometer gamma cukup signifikan, maka perlu dibuat sumber standar dengan variasi matriks dalam wadah yang lain seperti dalam tabung *Marinelli*.
2. Untuk mengatasi apabila tidak ada kesamaan kondisi sampel dengan matriks standar, maka untuk menentukan efisiensi dapat digunakan pendekatan kurva dengan densitas sampel yang mendekati densitas matriks sumber standar.

DAFTAR PUSTAKA

1. BSN, 2000, SNI-19-17025-2000 : Persyaratan umum kompetensi laboratorium pengujian dan laboratorium kalibrasi, Badan Standardisasi Nasional, 2000.
2. TIWARI, P.N, 1973, *Fundamentals of Nuclear Science with Applications in Agriculture and Biology*, Wiley Eastern Private Limited, New Delhi.
3. CEMBER, H., 1983, *Introduction to Health Physics*, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
4. SUSETYO, W., 1988, *Spektrometer Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
5. DEBERTIN, K., and HELMER, R.G., 1988, *Gamma and X-ray Spectrometry with Semiconductor Detectors*, Nort-Holland.
6. BATAN, 1998, "Prosedur Analisis Sampel Radioaktivitas Lingkungan", Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta.
7. ISKANDAR, D., 1997, "Koreksi serapan diri sinar- γ dalam wadah marinelli satu liter", Prosiding Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta, 8-10 Juni 1997, hal. 387-392.
8. PARK, T.S., KIM, T.Y., HWANG, H.Y., LEE, Y.S., 1997, "Radioactivity measurement of cylindrical sources by gamma-ray spectrometry", J. of Radioanalytical and Nuc. Chem., Vol. 215, No.2, pp. 305-309.
9. DRYAK, P., KOVAR, K., PLCHOVA, L., SURAN, J., 1989, "Corrections for the Marinelli Geometry", J. Radioanalytical Nuclear Chemistry Letters, 135, pp. 281-292.
10. MARTIN, J.E., 2000, *Physics for Radiation Protection*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
11. IAEA, 2005, "Environmental Radiation Monitoring and Regional Data Base", Final Report Proficiency Test on the Determination of α , β and γ -emitting Radionuclides, TC Project RAS/9/2004, IAEA, Seibersdorf, June 2005.
12. ISO, 1997, ISO/IEC GUIDE 43-1, "Proficiency testing by interlaboratory comparisons, Part 1": Development and operation of proficiency testing schemes., Second Edition, Geneva (1997).
13. CANBERRA, 1996, "Detector specification and performance data : Detector model GC-2020", Canberra, 800 Research Parkway, Meriden-USA.
14. NCRP, 1978, *A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures*, NCRP Report No.58, Bethesda Maryland.

