

PEMBUATAN SUMBER STANDAR Ba-133 SEBAGAI SIMULATOR I-131

Hermawan Candra¹, Pujadi², Gatot Wurdianto³

¹²³Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jalan Cinere Ps. Jum'at, Kotak Pos 7043 JKSKL Jakarta Selatan 12070.
hermawan@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SUMBER STANDAR Ba-133 SEBAGAI SIMULATOR I-131. Salah satu instrumentasi nuklir pada kedokteran nuklir adalah Dose Calibrator. Peralatan ini merupakan salah satu alat ukur aktivitas radioisotop yang banyak digunakan di rumah sakit. Untuk menjamin keselamatan radiasi pada pasien, Dose calibrator harus secara rutin dikalibrasi menggunakan sumber standar. Radiosotop yang sering digunakan pada kedokteran nuklir adalah I-131 dan Tc-99m. I-131 mempunyai waktu paro pendek 8,04 hari dan energi gamma sebesar 364.5 keV. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan sumber standar Ba-133 sebagai simulator atau sumber standar alternatif I-131. Ba-133 mempunyai waktu paro panjang 10,54 tahun. Ba-133 mempunyai energi gamma 356 keV yang berdekatan dengan energi gamma I-131 364,5keV. Standardisasi radionuklida I-131 dan Ba-133 menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma dengan sumber standar multi gamma Eu-152 pada rentang energi 121 keV sampai 1408 keV. Hasil pengukuran efisiensi I-131 menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 0.002355 Sedangkan hasil pengukuran efisiensi Ba-133 menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 0.002417 Perbedaan antara hasil pengukuran efisiensi I-131 dan Ba-133 menggunakan sumber standar Eu-152 adalah 2.56%. Hasil pengukuran aktivitas Ba-133 pada tombol I-131 pada 2 dose calibrator memberikan perbedaan dibawah 1 % bila dibandingkan dengan hasil perhitungan peluruhan aktivitas sumber standar Ba-133. Hasil perbedaan perhitungan efisiensi I-131 dan Ba-133 memberikan hasil yang cukup baik sehingga Ba-133 dapat digunakan sebagai simulator I-131 yang akan digunakan untuk mengkalibrasi dose calibrator.

Kata Kunci: Sumber standar Ba-133, Simulator I-131, kalibrasi, spektrometer gamma, dose calibrator

ABSTRACT

MAKING OF Ba-133 STANDARD SOURCE AS SIMULATOR I-131. One of nuclear instrumentation at nuclear medicine is Dose Calibrator. This equipments represent one of measuring instrument of radioisotope activity which is a lot of used at hospital. To guarantee the safety radiasi of patient, Dose Calibrator have to routinely is calibrated to use the standard source. Radiosotope which often used at nuclear medicine is I-131 and Tc-99m. I-131 have the short time live 8,04 day and gamma energy of equal to 364.5 keV. This research have been done making of Ba-133 source standard as simulator or source standard of alternative I-131. Ba-133 have the long time live 10,54 year. Ba-133 have the gamma energy 356 nearby keV by gamma energy is gamma I-131 364,5keV. Radionuclide standardization of I-131 and Ba-133 use of gamma spectrometer counting system with standard source of of multi of gamma Eu-152 energy range of 121 keV until 1408 keV. Result of I-131 efficiency measurement use Eu-152 standard source is 0.002355. While result of Ba-133 efficiency measurement use Eu-152 standard source is is 0.002417. Difference between result of efficiency measurement of I-131 and Ba-133 use standard source Eu-152 is 2.56%. Result of Ba-133 activity measurement of tuning I-131 at two dose calibrator give the difference under 1 % if compared with the result of calculation of decay of activity of Ba-133 standard source. Difference result of efficiency calculation of I-131 and Ba-133 give the good enough result so that Ba-133 serve the purpose of simulator I-131 to be used to calibrate the dose calibrator.

Keyword : Ba-133 standard source, Simulator of I-131, calibration, gama spectrometer, dose calibrator

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam bidang nuklir telah berkembang pada berbagai bidang kegiatan. Kegiatan yang telah memanfaatkan zat radioaktif adalah di bidang kedokteran untuk diagnosis maupun terapi berbagai penyakit dan sistem monitor radiasi yang berfungsi untuk memonitor tingkat paparan radiasi di lokasi yang diperkirakan memiliki tingkat radiasi, misal di fasilitas nuklir dan instalasi nuklir. Zat radioaktif yang sering digunakan pada kegiatan-kegiatan tersebut misalnya radionuklida Eu-152, Ho-166m dan Ba-133. Ketiga radionuklida tersebut digunakan sebagai sumber standar karena mempunyai waktu paro panjang dan mempunyai energi dengan rentang yang lebar. Eu-152 merupakan radionuklida multi gamma yang mempunyai rentang energi gamma dari 100 keV sampai 1500 keV. dan mempunyai waktu paro panjang 13,1 tahun, Ho-166m mempunyai rentang energi gamma dari 80 keV sampai 1500 keV. dan mempunyai waktu paro panjang 1200 tahun dan Ba-133 mempunyai rentang energi gamma dari 80keV sampai 500keV dan mempunyai waktu paro panjang 10,54 tahun.

Pada bidang kesehatan agar pemanfaatan zat radioaktif dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya maka perlu pengukuran aktivitas zat radioaktif yang tepat agar dosis radiasi yang akan diterima pasien terkontrol dan tidak merugikan pasien. Untuk pengukuran aktivitas zat radioaktif ini diperlukan alat yang mempunyai keandalan yang tinggi sebagai alat acuan pengukuran aktivitas dan pengendalian mutu alat ukur radioaktivitas *dose calibrator* yang digunakan di rumah sakit. sehingga efektif digunakan sebagai sumber standar.

Pada bidang reaktor nuklir diperlukan Sumber standar untuk mengkalibrasi alat ukur radiasi, salah satunya adalah sistem *continou air monitor*. Sistem monitor ini berfungsi untuk memonitor tingkat paparan radiasi di lokasi yang diperkirakan memiliki tingkat radiasi, misal di fasilitas nuklir dan instalasi nuklir. Apabila tingkat radiasi di lokasi tersebut melampaui nilai batas aman maka sistem monitor ini secara otomatis akan memberikan tanda. Salah satu radionuklida lepasan reaktor adalah I-131 yang mempunyai energi gamma sebesar 356keV.

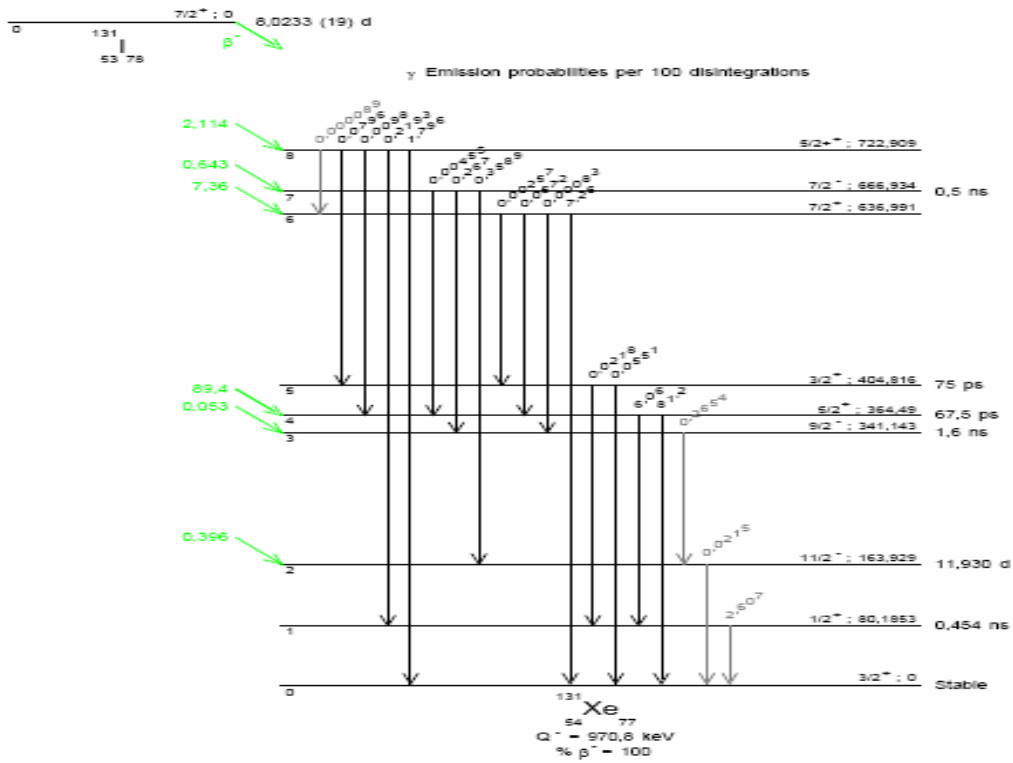
Pada penelitian telah dilakukan pembuatan sumber standar Ba-133 sebagai simulator I-131 pada kedokteran nuklir. Ba-133 merupakan radionuklida yang sering digunakan sebagai sumber standar untuk mengkalibrasi alat ukur

aktivitas dan alat ukur radiasi pada rentang ukur 80keV-500keV dan sebagai simulator radionuklida I-131. Tujuan kegiatan ini adalah meningkatkan kemampuan PTKMR BATAN dalam bidang metrologi radiasi khususnya pembuatan sumber standar Ba-133 dan standardisasi radionuklida ba-133, menjadikan sumber standar radionuklida Ba-133 sebagai standar dan simulator I-131 dalam mengkalibrasi alat ukur aktivitas untuk pengukuran aktivitas dengan bantuan kurva kalibrasi efisiensi dan sebagai alat untuk pengendalian mutu di laboratorium standardisasi radionuklida dan pengendalian mutu pengukuran aktivitas di rumah sakit.

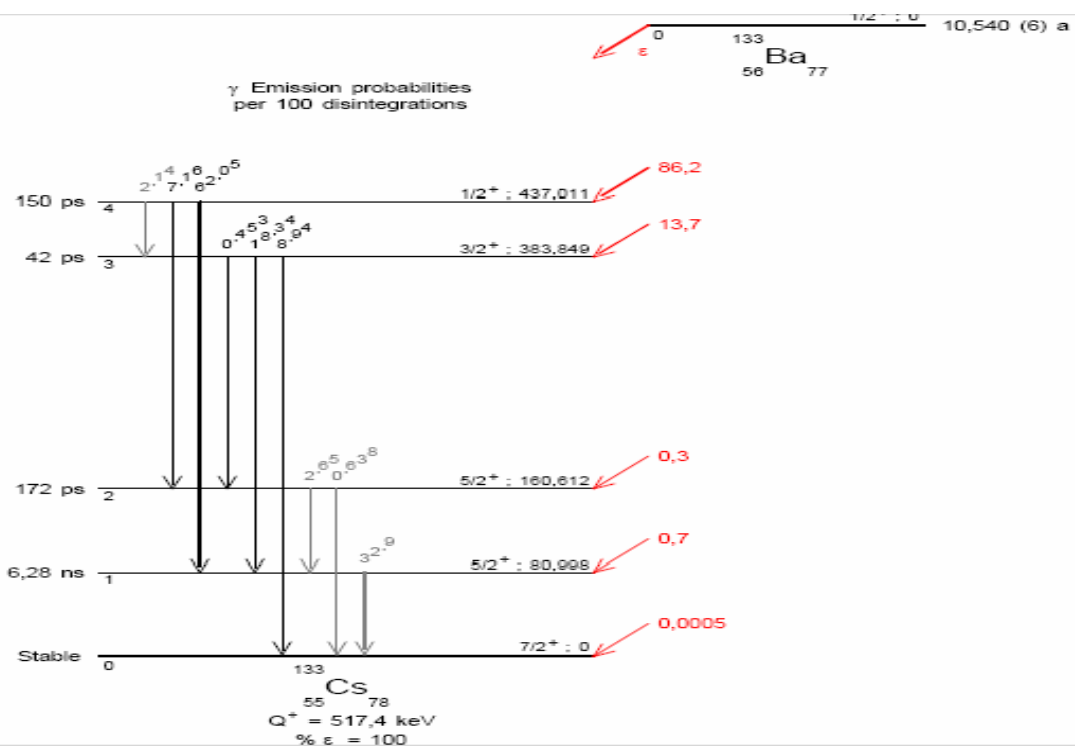
II. TEORI

Peranan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir pada ilmu kedokteran nuklir pada saat ini telah berkembang pesat untuk tujuan damai. Beberapa ilmu pendukung pada perkembangan kedokteran nuklir adalah fisika inti, instrumentasi nuklir dan ilmu biomedik. Salah satu aplikasi ilmu kedokteran nuklir adalah untuk pengobatan hipertiroid menggunakan radionukloda I-131. Tujuan pemberian I-131 adalah untuk mengablasi atau menghancurkan sisa jaringan tiroid yang masih ada pada pasien serta anak sebar kanker yang lokasinya tidak memungkinkan untuk dioperasi.

Radionuklida I-131 mempunyai waktu paro pendek 8,04 hari dan merupakan pemancar beta dan diikuti oleh gamma dengan energi gamma 364,48 keV (81,6%), 636,97 keV (7,12%) dan 722,89 keV (1,78%). Intensitas (yield) terbesar pada energi gamma 364,5 keV sebesar 81,6%. Sedangkan radionuklida Ba-133 mempunyai waktu paro panjang 10,54 tahun dan mempunyai energi gamma 53,16 keV (2,2%), 79,62 keV (2,61%), 81 keV (34%), 276,39 keV (7,1%), 302,85 keV (18,33%), 356,01 keV(62,3%) dan 383,85 keV (8,92%). Intensitas (yield) terbesar pada energi gamma 356,01 keV sebesar 62,3 %. Skema peluruhan I-131 dan Ba-133 disajikan pada gambar 1(a)dan(b)



(a)



(b)

(a)

(b)

Gambar 1. (a). Skema Peluruhan I-131
 (b). Skema Peluruhan Ba-133

Radionuklida I-131 dan Ba-133 mempunyai energi gamma yang berdekatan yaitu 364,48 keV dan 356,01 keV tetapi Ba-133 mempunyai waktu paro yang lebih panjang dibandingkan I-131. Oleh sebab itu Ba-133 pada bidang kedokteran nuklir bisa dipakai sebagai simulator dari radionuklida I-131 untuk kalibrasi alat ukur aktivitas Dose Calibrator karena energi gammanya berdekatan dan waktu paro Ba-133 sangat panjang sangat sehingga efektif untuk sumber standar untuk kalibrasi dose calibrator.

Proses standarisasi radionuklida sering dilakukan menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma. Pada pengukuran radioaktivitas sumber radioaktif menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, yaitu jenis detektor yang digunakan, daya pisah detektor dan efisiensi detektor. Efisiensi detektor merupakan suatu ukuran yang menyatakan hubungan antara pulsa yang dihasilkan detektor dengan aktivitas dari sinar gamma yang terdeteksi. Ada beberapa jenis mengenai efisiensi detektor yaitu efisiensi mutlak dan efisiensi intrinsik. Efisiensi mutlak adalah rasio cacah pulsa yang dihasilkan detektor terhadap aktivitas yang dipancarkan sumber radioaktif sinar gamma. Pada efisiensi ini tergantung pada geometri pencacahan yaitu jarak antara sumber radioaktif dan detektor. Sedangkan efisiensi intrinsik adalah rasio cacah pulsa yang dihasilkan detektor terhadap cacah sinar gamma yang mengenai detektor. Pada efisiensi ini hanya tergantung materi detektor dan energi radiasi.

Untuk mencari hubungan antara energi sinar gamma dengan efisiensi detektor maka dilakukan kalibrasi efisiensi dengan membuat kurva kalibrasi efisiensi. Pada kalibrasi efisiensi menggunakan beberapa sumber radioaktif standar pemancar sinar gamma yang mempunyai energi sinar gamma yang tersebar dari energi rendah sampai energi gamma tinggi, misalnya dari energi 100 keV sampai 1300 keV. Selain itu juga dapat digunakan satu sumber radioaktif standar yang mempunyai rentang energi gamma rendah sampai tinggi, misalnya Eu-152 LMRI dengan rentang energi gamma 121,8 keV sampai 1408,1keV. Radionuklida Eu-152 merupakan radionuklida yang meluruh dengan memancarkan partikel beta, sinar gamma dan sinar X. Radionuklida ini mempunyai jangkauan energi gamma yang cukup luas dari 121,8 keV sampai 1408keV dan mempunyai intensitas yang besar. Salah satu kegunaan dari sumber standar Eu-152 sebagai sumber standar untuk membuat menentukan aktivitas radionuklida secara kuantitatif.

Alat ukur aktivitas zat radioaktif dose calibrator Capintec merupakan digunakan untuk mengukur aktivitas zat radioaktif pemancar sinar-

γ . Sebagai alat ukur standar, dose calibrator Capintec akan berfungsi sebagai pengendali mutu pengukuran aktivitas zat radioaktif baik pengukuran yang dilakukan di Laboratorium Metrologi PTKMR- BATAN maupun di laboratoria lain di Indonesia serta di uni-unit Kedokteran Nuklir di beberapa rumah sakit. Sebagai alat ukur aktivitas, dose calibrator capintec ini mempunyai banyak keunggulan dalam pemakaiannya, yaitu praktis pemakaiannya, kestabilan tinggi untuk aktivitas tinggi, rentang ukur pengukuran cukup lebar 20 keV sampai 3MeV. Uji kestabilan menggunakan sumber standar ^{226}Ra dan $^{166\text{m}}\text{Ho}$ yang mempunyai waktu paro panjang.

III. TATA KERJA

III.1. Bahan Dan Alat

Bahan-bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah:

- Radionuklida I-131
- Radionuklida Ba-133
- Sumber Standar Eu-152 LMRI
- Sistem pencacah spektrometer gamma detektor HPGe GC 1018 buatan Canberra,
- High Voltage Supply TC 950 buatan Tennelec,
- Amplifier 2022 buatan Canberra, Multiport II buatan Canberra,
- Software Genie 2000 buatan Canberra

III.2. Metode

III.2.1. Pembuatan sumber standar Ba-133

Pembuatan sampel Ba-133 dalam bentuk padat (titik) atau *point source* dan cair dalam vial. Sumber radioaktif master Ba-133 cair diteteskan pada penyangga sumber mylar, sebanyak 10 buah dan bentuk cair pada vial dari master Ba-133. Penimbangan sampel dibuat dengan variasi berat menggunakan timbangan semimikro Mettler H54R.. Sebelum dilakukan preparasi sumber radioaktif master Ba-133, sumber tersebut diukur dengan sistem pencacah kamar pengion Merlin Gerin. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui aktivitas total dari sumber radioaktif tersebut. Setelah mengetahui aktivitas total selanjutnya dilakukan pengenceran dan penimbangan dengan metode gravimetri. Larutan pengemban Ba-133 menggunakan 1 M HCl kemudian dilakukan penimbangan. Tahap berikutnya adalah melakukan penetesan sumber radioaktif Ba-133 ke penyangga sumber bentuk mylar dan cair dalam vial.

III.2.2. Pengukuran Aktivitas Cuplikan Ba-133 dan I-131

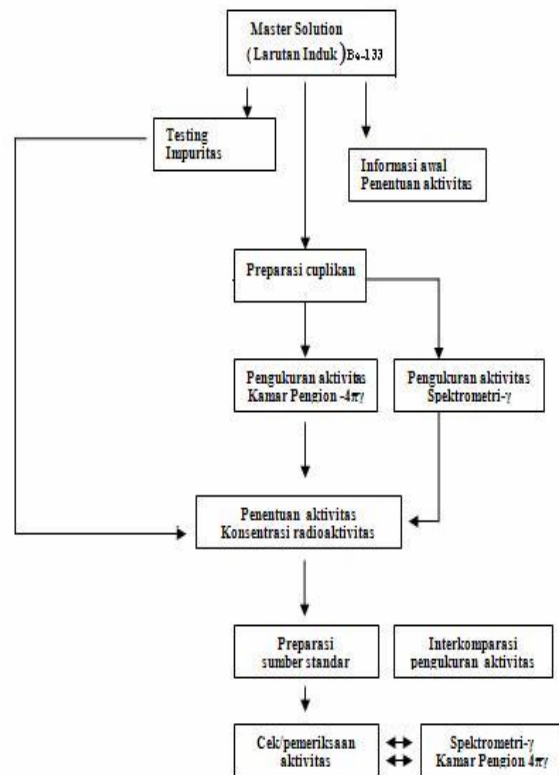
Pengukuran aktivitas sampel Ba-133 bentuk padat (titik) atau point source menggunakan sistem pencacah spektrometer gamma detektor semikonduktor *High Purity Germanium* (HPGe). Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan analisa kualitatif menggunakan kurva kalibrasi energi sedangkan analisa kuantitatif menggunakan kurva kalibrasi efisiensi. Sumber standar yang digunakan adalah sumber standar Eu-152 buatan LMRI. mempunyai rentang energi rendah sampai tinggi (121keV sampai 1408 keV). Sumber standar Eu-152 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 :

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

dengan :

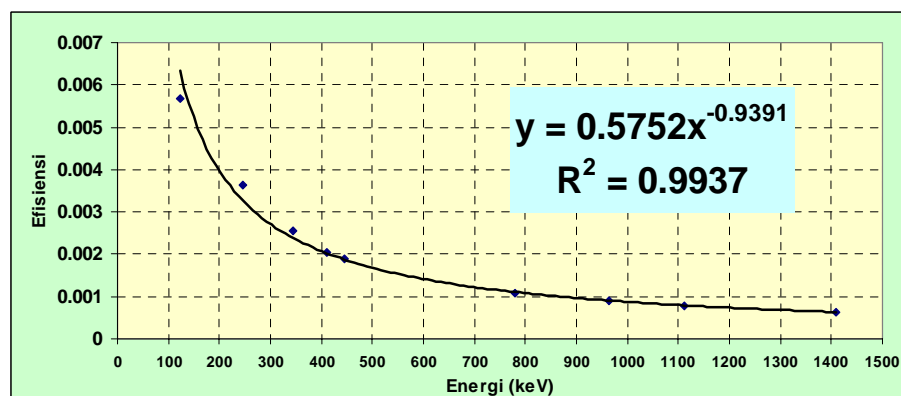
$\varepsilon(E)$ adalah efisiensi mutlak pada energi E
cps adalah laju pencacahan pada pengukuran
dps adalah aktivitas standard pada saat pengukuran
Y(E) adalah yield sebagai fungsi energi gamma



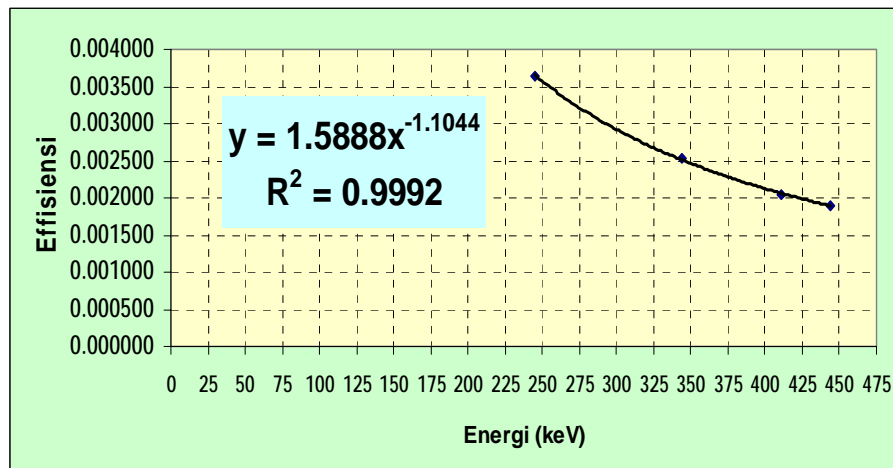
Gambar 3. Diagram alir design pembuatan sumber standar radionuklida

IV. HASIL PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sumber standar Eu-152 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 dari penentuan luas puncak serapan total untuk rentang energi 100 keV sampai 1500keV. disajikan pada Gambar 4.



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



Gambar 5. Kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152 LMRI rentang energi 200 – 450 keV

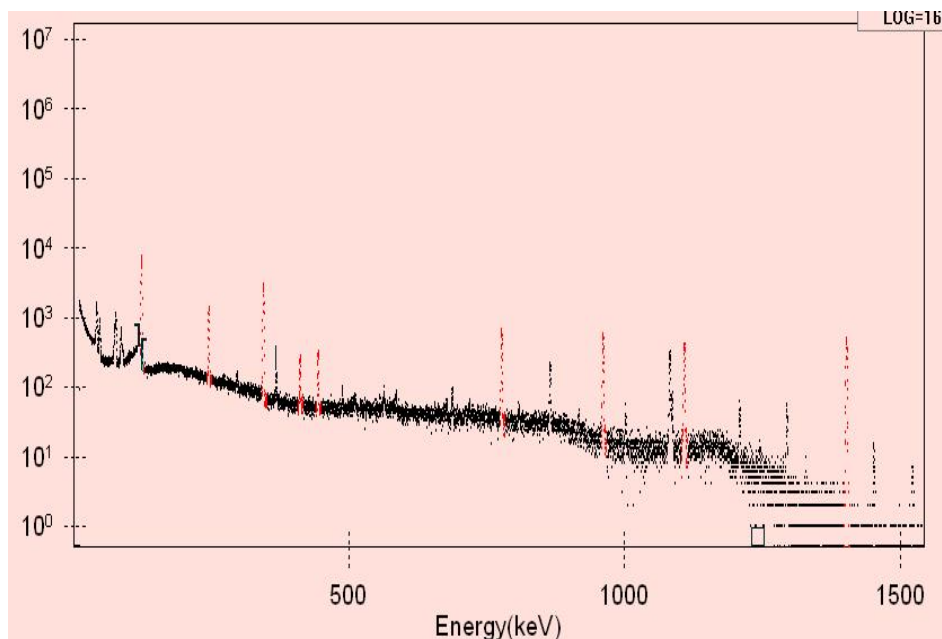
Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 100 keV sampai 1500 keV menggunakan Eu-152 LMRI diperoleh nilai korelasi r^2 sebesar 0.9937 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y = 0,5752 X^{-0,9391}$.

Radionuklida I-131 dan Ba-133 mempunyai energi gamma berturut-turut 364,48 keV dan 356,01 keV. Kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total untuk energi gamma kedua radionuklida tersebut dipilih pada rentang energi 200 keV sampai 450 keV menggunakan sumber standar Eu-152.. Kurva kalibrasi efisiensi dari penentuan luas puncak serapan total pada rentang energi 200 keV sampai 450 keV disajikan pada Gambar 5.

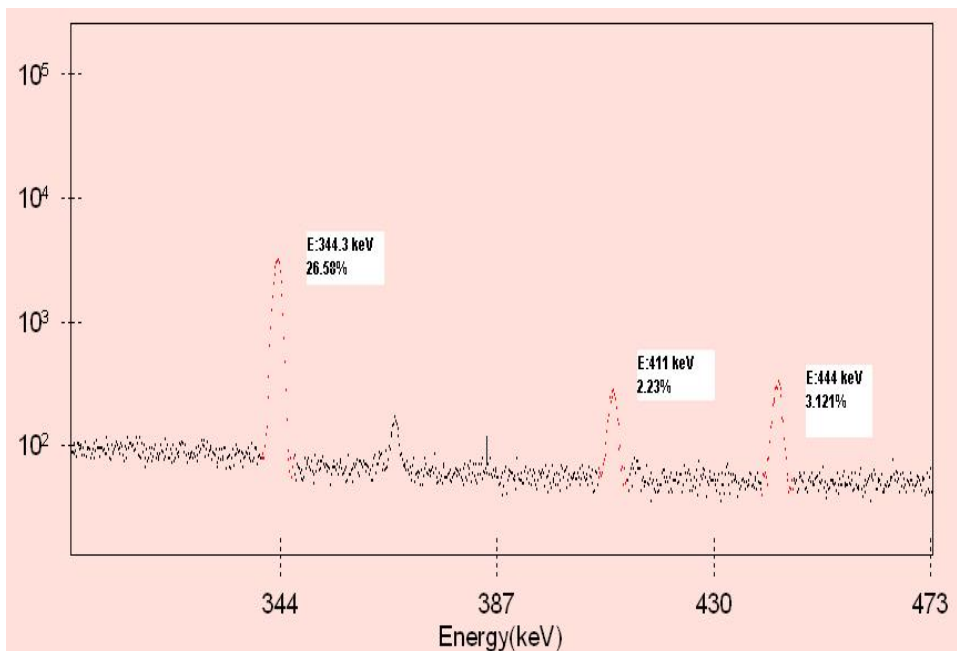
Pada kurva kalibrasi efisiensi energi antara 200 keV sampai 450 keV menggunakan Eu-152 LMRI diperoleh nilai korelasi r^2 sebesar 0.9992 dan persamaan kurva kalibrasi efisiensi $Y=1,5888 X^{-1,1044}$. Pemilihan energi gamma pada Eu-152 sangat berpengaruh pada hasil kurva kalibrasi efisienai untuk perhitungan nilai efisiensi Ba-133 (356 keV) dan I-131(364.5 keV).

Energi gamma Eu-152 yang dipilih adalah pada 224 keV, 344 keV, 411 keV dan 444 keV. Nilai koefisien linieritas yang dihasilkan cukup bagus. Yaitu 0,9992 . Pada metode spektrometry gamma pemilihan energi gamma yang tepat untuk kalibrasi efisiensi sumber standar sangat diperlukan karena mempengaruhi ketepatan dan keakuratan hasil pengukuran aktivitas.

Spektrum sumber standar Eu-152 disajikan pada gambar 6 (a) dan (b). Pada gambar 6 (a) tampak spektrum energi gamma sumber standar Eu-152 mempunyai rentang energi yang cukup luas yaitu dari energi gamma 120 keV sampai 1500 keV yang digambarkan dengan bentuk peak.. menurut Debertin, ada 9 energy gamma yang direkomendasikan dalam pembuatan kalibrasi efisiensi. Pada gambar 6 (b) terlihat bahwa pemilihan energi gamma Eu-152: 224keV,344keV,411keVdan444keV telah sesuai untuk kalibrasi energi gamma Ba-133 dan I-131 yaitu 356 keV dan 364.5 keV.



(a)



(b)

**Gambar 6. : (a) Spektrum sumber standar Eu-152 : 100-1500keV
(b) Spektrum sumber standar Eu-152 : 200-450 keV**

Tabel 1.menyajikan nilai efisiensi dan perbedaan nilai efisiensi dari radionuklida I-131 dan Ba-133 pada energi gamma 364,48 keV dan 356,01 keV menggunakan persamaan kurva kalibrasi efisiensi antara 200 keV sampai 450 keV

Dari tabel di atas dapat dijelaskan bahwa radionuklida I-131 pada energi gamma 364,48 keV diperoleh nilai efisiensi sebesar 0,002355

dan Ba-133 pada energi gamma 356,01 keV diperoleh nilai efisiensi sebesar 0,002417. Perbedaan antara kedua nilai efisiensi tersebut adalah 2,56%. Perbedaan energi antara Ba-133 (356.01 keV) dan I-131 (364.5 keV) adalah 2,33%. Spektrum sumber standar Ba-133 dan I-131 disajikan pada gambar dibawah.

**Tabel 1. Nilai efisiensi dan perbedaan nilai efisiensi
I-131 (364,48keV) dan Ba-133 (356,01keV)**

	E (keV)	Yield %	Effisiensi i	Perbedaan n %
I-131	364.48	81.6	0.002355	2.56
Ba-133	356.01	62.3	0.002417	

Hasil pengukuran aktivitas Ba-133 menggunakan 2 dose calibrator disajikan pada Tabel 2. Aktivitas sumber estándar secara perhitungan adalah 284,2 μ Ci. Hasil pengukuran aktivitas Ba-133 menggunakan dose calibrator yang berbeda yaitu capintec dan cardial Health pada posisi Radionuklida factor I131 adalah berturut-turut 281,54 μ Ci dan 281,39 μ Ci. Perbedaan hasil perhitungan dan pengukuran masing-masing sebesar 0,94% dan 0,99%. Hasil tersebut cukup bagus karena masih dibawah 1% sehingga kehandalan dose calibrator masih baik.

**Tabel 2. Hasil Pengukuran Aktivitas Ba-133
Menggunakan Dose Calibrator**

No.	Nama Alat Merk	Akt Ba133 (uCi)	Aktivitas Ba-133 Tombol I- 131	Beda %
1.	Dose Calibrator Capintec	284.2	281.54±0.16	0.94
2.	Dose Calibrator Ca/Rad mark VI		281.39±0.18	

V. KESIMPULAN

- Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan :
1. Proses standardisasi radionuklida Ba-133 dengan spektrometer gamma menggunakan sumber estándar Eu-152 pada energi 244 keV, 344 keV, 411 keV dan 444 keV memberikan harga koefisien linieritas yang cukup bagus $r^2 = 0,9992$
 3. Dari persamaan kurva kalibrasi efisiensi menggunakan Eu-152, perhitungan nilai efisiensi Ba-133 (356keV) dengan I-131(364.5 keV) memberikan perbedaan yang cukup kecil sebesar 2,56%.
 4. Hasil pengukuran aktivitas Ba-133 pada tombol I-131 pada 2 dose calibrator memberikan perbedaan dibawah 1 % bila

dinandingkan dengan hasil perhitungan peluruhan aktivitas sumber standar Ba-133

5. Sumber estándar Ba-133 dapat digunakan sebagai Simulator radionuklida I-131 pada kalibrasi dose calibrator
6. Perlu dilakukan pengembangan sumber standar Ba-133 di bidang lain ebagai sumber standar pengukuran aktivitas.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. H.SCHRADER (1997), Activity Measurements with Ionization Chambers, Bureau International Des Poids Et Mesures
2. ICRP Publication 38, Radionuclide Transformation Energy & Intensity of Emissions, Vol. 11-13, Pergamon Press, Oxford
3. NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Report No. 58, November 1978.
4. K. DEBERTIN AND RG. HELMER, Gamma and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector, 1988
5. DEBERTIN, SCHOTZIG, KF WALZ, Efficiency Calibration of Semiconductor Spectrometers Techniques and Accurates ,PTB Germany
6. RICHARD J.KOWALSKY, JRANDOLPH PERRY, Radiopharmaceuticals in nuclear medicine practice, Norwalk Los Altos california1991

TANYA JAWAB

Pertanyaan :

1. ^{133}Ba tidak dapat digunakan sebagai simulator ^{131}I untuk kalibrasi kamar pengion karena ^{133}Ba memiliki banyak energi sedangkan ^{131}I hanya 1 energi.

(Nazaroh – PTKMR)

Jawaban :

1. ^{133}Ba mempunyai E_j : 53,16 Kv (2,2%), 79,6 Kv (2,61%), 81Kv (34%), 276,39 Kv (7,1%), 302,85 Kw (18,33%) dan 356 Kw (62,3%) sedangkan ^{131}I mempunyai E_j : 364,48 (81,6%), 636 Kv (7,12%). ^{133}Ba digunakan untuk cek kualitas alat Dose calibrator karena mempunyai harga E_j berdekatan yaitu pada E_j 356 Kv dan 365 Kv.