

# PENGARUH PENAMBAHAN RADIOAKTIVITAS $^{137}\text{Cs}$ PADA PENGUKURAN MENGGUNAKAN LIQUID SCINTILLATION COUNTER (LSC) DALAM PELARUT TOLUENE

**Deddy Irawan Permana Putra**

Pusat Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Radiasi – BATAN, Jakarta Selatan, 12440

deddyipp@batan.go.id

## ABSTRAK

Radioisotop  $^{137}\text{Cs}$  yang memiliki waktu paruh 30,17 tahun memiliki inti yang tidak stabil dan dapat meluruh dengan memancarkan partikel beta dan sinar gamma. Teknik analisis menggunakan Liquid Scintillation Counter (LSC) merupakan metode analisis yang cukup akurat untuk menentukan pengukuran radiasi beta dari radionuklida. Pencampuran sample dengan pelarut Toluene, larutan scintillator PPO (2,5-diphenyloxazole) dan POPOP (1,4-Bis(5-phenyl-2-oxazolyl) benzene) dalam 1 sistem larutan homogen dapat meningkatkan efisiensi dari pencacahan. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan radioaktivitas  $^{137}\text{Cs}$  terhadap efisiensi pencacahan dengan Liquid Scintillation Counter (LSC). Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan melarutkan  $^{137}\text{Cs}$  dengan aktivitas dan volume tertentu kedalam larutan scintillator primer PPO dan scintillator sekunder POPOP dalam pelarut Toluene. Pengukuran sampel menggunakan Liquid Scintillation Counter (LSC) dilakukan selama 10 menit. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pengukuran  $^{137}\text{Cs}$  menggunakan LSC yang paling tinggi pada penambahan 10  $\mu\text{l}$  dengan efisiensi 96,32%, dan di ikuti oleh penambahan 20  $\mu\text{l}$  (67,09 %), 30  $\mu\text{l}$  (50,15%), 50  $\mu\text{l}$  (49,65%), dan paling rendah pada penambahan 40  $\mu\text{l}$  dengan efisiensi 42,36 %.

Kata kunci: Liquid Scintillation Counter (LSC),  $^{137}\text{Cs}$ , Toluene

## ABSTRACT

$^{137}\text{Cs}$  radioisotope that has a half life 30.17 years with an unstable nucleus can decays by emitting beta particles and gamma rays. Analysis techniques using liquid scintillation counters (LSC) is a method that has accurate enough to determine and measurement of beta radiation from radionuclides. Sample was mixing with the solvent of toluene, a solution of scintillator PPO (2,5-diphenyloxazole) and POPOP (1,4-Bis (5-phenyl-2-oxazolyl) benzene) in one system a homogeneous solution can increase efficiency of counting. In this study aims to determine the effect of adding  $^{137}\text{Cs}$  radioactivity to the efficiency of count with liquid scintillation counters (LSC). The method has used in this study was prepared by dissolving  $^{137}\text{Cs}$  with activity and specific volume in the primary scintillator PPO and secondary scintillator POPOP on solvent toluene. Sample was measurement using the liquid scintillation counter (LSC) is performed for 10 minutes. The results showed the efficiency measurement of  $^{137}\text{Cs}$  using LSC was highest in the addition of 10 mL with 96.32% efficiency, and followed by the addition of 20 mL (67.09%), 30 mL (50.15%), 50 mL (49.65%), and lowest in the addition of 40 mL with 42.36% efficiency.

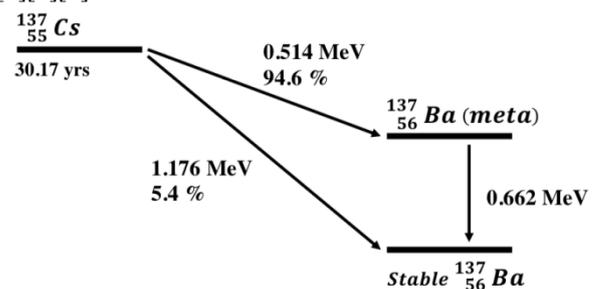
Keywords: Liquid scintillation counter (LSC),  $^{137}\text{Cs}$ , Toluene

## I. PENDAHULUAN

Radioisotop  $^{137}\text{Cs}$  merupakan radionuklida buatan dengan waktu paruh 30,17 tahun yang sebagian besar dihasilkan dari lepasan uji coba senjata thermonuklir, kecelakaan dan aktivitas rutin dari reaktor nuklir [1]. Uji coba senjata nuklir paling sering terjadi pada tahun 1954, 1958, 1961 dan 1962 yang menghasilkan lepasan global radionuklida  $^{137}\text{Cs}$  dengan konsentrasi 4 kBq m<sup>-2</sup> di belahan bumi utara. Konsentrasi  $^{137}\text{Cs}$  setelah 20 tahun dari uji coba nuklir terakhir, yaitu pada tahun 2000 mengalami penurunan konsentrasi menjadi 2 kBq m<sup>-2</sup> [2].

$^{137}\text{Cs}$  memiliki inti yang tidak stabil yang dapat meluruh secara spontan dengan melepaskan partikel beta menjadi  $^{137}\text{Ba}$  metastabil. Peluruhan  $^{137}\text{Cs}$  ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapat 2 kemungkinan peluruhan beta dari  $^{137}\text{Cs}$  yaitu dengan jumlah 94,6 % memiliki energi beta maksimum 0,514 MeV dan kedua

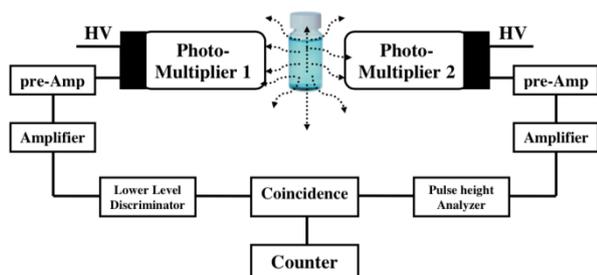
dengan jumlah 5,4 % memiliki energi maksimum 1,176 MeV. Keadaan metastabil  $^{137}\text{Ba}$  memiliki waktu paruh yang sangat singkat yaitu 2,55 menit dan meluruh menjadi stabil dengan mengemisikan radiasi gamma. Energi dari sinar gamma yang dipancarkan oleh  $^{137}\text{Ba}$  metastabil adalah sebesar 0,662 MeV [3][4][5].



Gambar 1. Skema peluruhan radionuklida dari  $^{137}\text{Cs}$

Liquid scintillation counter (LSC) atau liquid scintillation analysis (LSA) merupakan teknik yang sudah populer untuk mendeteksi dan mengukur jumlah radioaktivitas dari radionuklida sejak tahun 1950 an. Metode LSC menggunakan sample radioaktivitas yang dimasukkan dalam vial sintillasi dan ditambahkan dengan campuran scintillator khusus. Campuran scintillator yang biasa disebut koktail terdiri dari pelarut DIN (Diisopropylnaftalene) atau linier alkilbenzene dengan zat terlarut fluor seperti 2,5-diphenyloxazole (PPO) dengan konsentrasi pada larutan antara 2-10 g/L. [6].

Prinsip pada metode analisis LSC adalah dengan mengukur jumlah cahaya yang di emisikan dari larutan scintillator akibat berinteraksi dengan partikel radiasi beta. Interaksi dari peluruhan partikel beta dengan koktail akan mengemisikan photon cahaya pada panjang gelombang sekitar 375-430 nm untuk setiap peluruhan. Photon cahaya kemudian akan ditangkap detektor tabung Photomultiplier untuk digandakan menjadi aliran elektron dan diubah menjadi sinyal elektronik amplifier.



Gambar 2. Diagram blok sistem analisis sintillasi cair

Analisis menggunakan liquid scintillation counter (LSC) memungkinkan untuk mendeteksi dan menentukan jumlah dari radiasi alpha dan beta yang dipancarkan dari radionuklida. Dalam sistem pengukuran menggunakan LSC tidak terjadi penyerapan radiasi oleh medium sample itu sendiri karena sample dilarutkan secara homogen dalam campuran yang terdiri dari pelarut dengan sintilator cair. Dengan sistem yang homogen tersebut memungkinkan sample radionuklida dapat berinteraksi secara langsung dengan sintilator cair [6][7].

Untuk pengukuran dari radioaktif pemancar beta, sistem LSC menggunakan 2 model pengukuran yaitu: 1, pencacahan flouresensi dimana sample radioaktif dilarutkan dalam cocktail sintilator. Dengan metode ini partikel beta dari radionuklida dapat berinteraksi secara langsung dengan sintilator dan mengemisikan cahaya flouresensi. Dan 2, pencacahan Cerenkov dimana sample dilarutkan dalam medium air. Metode ini dapat dilakukan jika pemancar beta memiliki energi lebih besar dari 0.5 MeV dan efisiensi cacahannya jauh lebih rendah dibanding model pencacahan [4][8][9]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode analisis <sup>37</sup>Cs menggunakan liquid scintillation counter (LSC) dan pengaruh efisiensi dari variasi penambahan

sampel <sup>37</sup>Cs. Beberapa parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu homogenitas larutan sampel dan efisiensi pencacahan.

## II. METODE PENELITIAN

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi larutan tracer <sup>137</sup>Cs dengan aktivitas 2931,2 dpm pada tanggal 15 juni 2011, pelarut toluen, akuades, koktail (liquid scintillation mixture) dengan konsentrasi 1,25 mg/ml POPOP (1,4-Bis(5-phenyl-2-oxazolyl)benzene) dan 100mg/ml PPO (2,5-diphenyloxazole). Peralatan yang digunakan yaitu alat gelas laboratorium, vial ukuran 20 ml, pipet ukur, mikropipet socorex 10-100 µL, pipet pompa, instrumen liquid scintillation counting (LSC) model Tri-carb 2910TR version 2.12 serial 118527.

### Cara Kerja

Larutan koktail dilakukan pengenceran dari konsentrasi PPO 100 mg/ml menjadi 10 mg/ml dalam labu ukur 100 ml dengan menggunakan pelarut toluen. 5 vial larutan koktail sebanyak 20 ml ditambahkan tracer masing-masing sebanyak 50 µL dan ditambah akuades dengan variasi 10-50 µL sebagai larutan Quench. Kemudian dibuat variasi sampel larutan dengan konsentrasi <sup>137</sup>Cs yang berbeda mulai dari volume 10, 20, 30, 40, dan 50 µL dalam 20 ml larutan koktail untuk mengetahui efisiensi dari pencacahan menggunakan LSC.

### Pengukuran

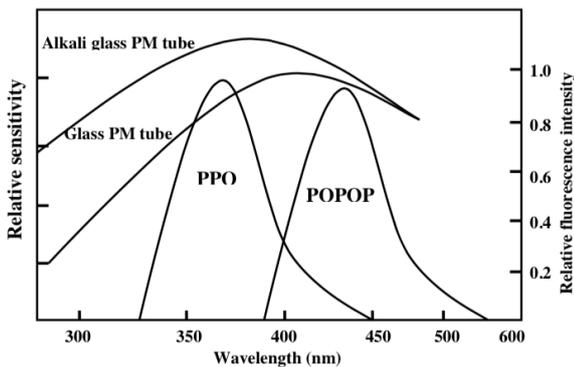
Pengukuran aktivitas radiasi <sup>137</sup>Cs menggunakan Liquid Scintillation Counting yang terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Larutan standar <sup>14</sup>C, <sup>137</sup>Cs dan background digunakan untuk kalibrasi dan normalisasi detektor photomultiplier tube dalam alat LSC. Sampel disusun dalam cassette holder sesuai dengan nomor urut yang tertera di atas vial lalu dicacah mengikuti instruksi kerja yang ada pada alat LSC hingga kurva standar <sup>137</sup>Cs yang diinginkan diperoleh (% Eff vs tSIE). Kondisi pengukuran diisi sesuai dengan petunjuk yang ada di alat. Vial, background dan sampel dimasukkan ke dalam cassette holder dan ditempatkan dalam posisi pencacahan. Tombol START ditekan dan ditunggu hingga pencacahan selesai selama 10 menit untuk setiap sampel [9].

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

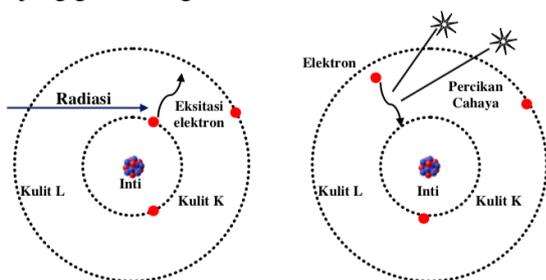
Telah dilakukan penelitian tentang penentuan radioaktivitas <sup>137</sup>Cs menggunakan liquid scintillation counter (LSC). Metode analisis ini menggunakan scintilator cair sebagai detektor dari partikel beta yang dipancarkan. Keunggulan dari analisis menggunakan LSC dibandingkan spektroskopi gamma yaitu tidak terjadi self attenuation pada sample. Self attenuation merupakan peristiwa berkurangnya intensitas energi yang dipancarkan dari sumber radioaktif saat melewati

suatu material sehingga akan mempengaruhi efisiensi pembacaan dari detektor [6]. Pada pengukuran sampel menggunakan LSC, self attenuation tidak terjadi karena sumber radionuklida yang dianalisis berada dalam satu sistem dengan detector yang berupa larutan sintilator sehingga jarak kontak dengan sintilator sangat kecil.

Dalam penelitian ini menggunakan toluene sebagai pelarut primer karena memiliki kemampuan yang baik dalam menangkap partikel beta yang di emisikan dari radionuklida. Saat partikel beta mengenai elektron phi dalam pelarut maka akan terjadi perpindahan elektron ke orbital yang lebih tinggi. Kondisi ini menyebabkan ketidakstabilan pada elektron sehingga akan kembali lagi pada keadaan dasar diikuti pelepasan energi dengan panjang gelombang pada sinar UV dan sinar tampak. Sinar UV yang dipancarkan akan berinteraksi dengan POPOP dan melepaskan energi pada panjang gelombang sinar tampak. Fenomena ini disebut sebagai proses fluoresensi. Pada proses ini energi yang dilepaskan oleh elektron mempunyai energi dengan karakteristik tertentu sesuai dengan jenis radionuklida yang dianalisis. Pada Gambar 3 ditunjukkan sensitivitas tabung photomultiplier terhadap panjang gelombang cahaya dari sintilator.



Gambar 3. Sensitivitas Photomultiplier Tube terhadap panjang gelombang dari sintilator



Gambar 4. Proses eksitasi pada elektron (a), dan proses emisi cahaya (b)

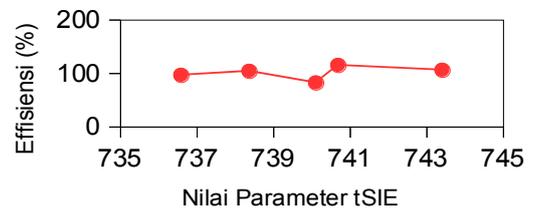
Pada gambar 4 di atas merupakan proses sintilasi dalam larutan koktail oleh sumber radiasi beta. Photon cahaya yang dihasilkan dari larutan sintilator akan ditangkap oleh tabung photomultiplier untuk digandakan intensitas cahayanya dan diubah menjadi sinyal elektronik oleh amplifier. Dalam penelitian ini terlebih dahulu dibuat larutan quenching dengan variasi konsentrasi air 10, 20, 30, 40, dan 50  $\mu\text{L}$  dalam

20 ml koktail. Setelah itu dapat dilakukan pengukuran pada sampel larutan  $^{137}\text{Cs}$  dengan konsentrasi berbeda mulai dari volume 10, 20, 30, 40, dan 50  $\mu\text{L}$  selama 10 menit.

Pengukuran  $^{137}\text{Cs}$  dengan menggunakan LSC terlebih dahulu melakukan kalibrasi dan normalisasi untuk mengoptimalkan performa alat ukur yang digunakan. Kalibrasi menggunakan larutan standar 3H dan 14C serta standard background dari Perkin Elmer untuk mengetahui efisiensi yang identik dengan performa alat. Dalam percobaan ini efisiensi pengukuran 3H sebesar 62,47 % dan 14C sebesar 92,76 % dan masih berada dalam kisaran efisiensi yang diperbolehkan yaitu untuk 3H 60-70 % dan 14C 85-95 %.

Tabel 1. Hasil cacah Quenching dengan variasi penambahan volume air.

Perlakuan	Volume	CPM (Bq)	tSIE	SIS	E%
P1	10 ul	1695	736.59	483.55	96.37
P2	20 ul	1826	738.37	478.68	103.83
P3	30 ul	1444	740.11	492.31	82.12
P4	40 ul	2021	740.69	449.94	114.92
P5	50 ul	1862	743.41	419.11	105.85



Gambar 5. Hubungan nilai parameter tSIE terhadap Effisiensi.

Pada Tabel 1 menunjukkan hasil cacah quenching dengan agen pemadam air. Pemadaman atau quenching merupakan hilangnya energi dari radiasi selama proses pencacahan yang di akibatkan dari bahan kimia dalam sample atau dalam larutan sintilator. Chemical quenching disebabkan oleh bahan kimia yang digunakan, sehingga mempengaruhi emisi radiasi dari radionuklida cacahan sebelum dikonversi menjadi cahaya/kerlip oleh sintilator contohnya ( $\text{H}_2\text{O}$ , nitromethane,  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CCl}_4$ ) [11][6]. Untuk mengoreksi pemadaman ini maka perlu dilakukan optimasi quenching larutan dengan variasi air sebagai agen pemadam kimia.

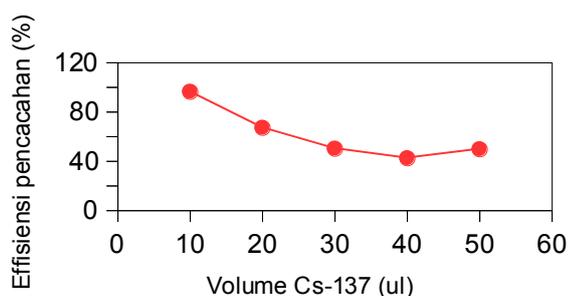
Hasil efisiensi quenching ditampilkan pada gambar 5. Efisiensi dari pengukuran menggunakan LSC dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$\frac{cpm \times 100\%}{dpm} = \text{efisiensi cacahan}$$

Dari hasil tersebut memperlihatkan agen pemadam dari bahan kimia air tidak memberikan efek yang signifikan terhadap hasil cacahan. Hal tersebut dikarenakan dengan penambahan air tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap perubahan nilai efisiensi cacahan terhadap nilai tSIE. Parameter tSIE (Transformed External Standard Spectrum) merupakan spektrum standard external yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari quenching pada pengukuran menggunakan LSC. Semakin besar nilai tSIE maka pengaruh agen quenching semakin kecil dan sebaliknya semakin kecil nilai tSIE maka pengaruh agen quenching semakin besar. SIS (Spectral Index of the Sample), merupakan parameter untuk menentukan efek quenching yang menggunakan pergeseran spektrum sampel pada MCA (Multi Channel Analyzer) untuk mendapatkan indeks quenching, semakin besar efek quenching maka spektrum akan bergeser pada energi lebih rendah dan akan menghasilkan nilai SIS yang rendah.

**Tabel 2.** Hasil cacah <sup>137</sup>Cs menggunakan LSC dengan variasi volume.

Perlakuan	Volume (ul)	DPM (Bq/menit)	CPM (Bq/menit)	E (%)
P0	0	0	22	-
P1	10	1758.72	1694	96.32
P2	20	3517.44	2360	67.09
P3	30	5276.16	2646	50.15
P4	40	7034.88	2980	42.36
P5	50	8793.60	4366	49.65



**Gambar 6.** Pengaruh penambahan <sup>137</sup>Cs terhadap nilai efisiensi pencacahan.

Hasil pengukuran sampel dengan variasi volume <sup>137</sup>Cs dapat dilihat pada Tabel 2. Pada gambar tersebut dapat dilihat pengaruh dari jumlah penambahan <sup>137</sup>Cs, semakin banyak jumlah <sup>137</sup>Cs semakin besar hasil cacah yang dihasilkan oleh LSC. Pengaruh penambahan <sup>137</sup>Cs terhadap efisiensi pencacahan dapat dilihat pada gambar 6. Bila dibandingkan dengan hasil perhitungan efisiensi pencacahan penambahan <sup>137</sup>Cs menunjukkan hasil yang sebaliknya, yaitu

efisiensi pencacahan justru cenderung semakin kecil dengan bertambahnya <sup>137</sup>Cs. Hal ini disebabkan oleh larutan <sup>137</sup>Cs dalam pelarut air yang tidak dapat terlarut secara homogen ke dalam sistem pelarut sintilator yang terdiri dari pelarut organik Toluene, sehingga terbentuk 2 lapisan. <sup>137</sup>Cs yang ditambahkan hanya sebagian kecil dapat terlarut dalam larutan, sehingga mengurangi kontak antara radiasi beta yang dipancarkan dari <sup>137</sup>Cs dengan sintilator. Hal ini menyebabkan cahaya yang berpendar dari sintilator ke detektor semakin kecil dan mengurangi hasil cacahan.

Dari hasil pengukuran tersebut di atas dapat dilihat untuk penambahan <sup>137</sup>Cs dengan jumlah paling sedikit yaitu 10 µL menunjukkan efisiensi paling tinggi sebesar 96,32 % dan cenderung menurun dengan bertambahnya volume larutan <sup>137</sup>Cs. Hal ini disebabkan oleh pengaruh self attenuation pada pelarut air dalam sampel cesium yang tidak dapat bercampur dengan larutan koktail. Volume larutan cesium dengan jumlah semakin banyak akan meningkatkan efek self attenuation, sehingga memperkecil hasil cacahan dan mengurangi nilai efisiensi. Begitu juga sebaliknya, dengan penambahan volume larutan cesium paling sedikit, efek self attenuation semakin kecil dan memperbesar nilai efisiensi. Dari hasil percobaan ini diperoleh efisiensi pengukuran <sup>137</sup>Cs menggunakan LSC yang paling tinggi pada penambahan 10 µl dengan efisiensi 96.32%, dan di ikuti oleh penambahan 20 µl (67,09 %), 30 µl (50.15%), 50 µl (49,65%), dan paling rendah pada penambahan 40 µl dengan efisiensi 42,36 %.

**VI. KESIMPULAN**

Liquid Scintillation Counter (LSC) dapat digunakan dengan baik untuk mengukur konsentrasi radioaktivitas <sup>137</sup>Cs dengan efisiensi mencapai lebih dari 90 %. Dalam penelitian ini efisiensi tertinggi sebesar 96,32 % diperoleh pada penambahan volume <sup>137</sup>Cs sebanyak 10 µl. Namun demikian semakin bertambahnya volume <sup>137</sup>Cs pada larutan koktail justru menurunkan nilai efisiensi, hal ini disebabkan oleh perbedaan fasa larutan dan self attenuation pada fasa airnya.

**SARAN**

Perlu dilakukan proses preparasi pada larutan sampel <sup>137</sup>Cs agar dapat terlarut homogen menjadi satu fasa organik dengan koktail yang digunakan sehingga meningkatkan kontak <sup>137</sup>Cs pada scintilator dan menghilangkan efek self attenuation.

**DAFTAR PUSTAKA**

1. Ciuffo, L.E.C., Belli, M., Pasquale, A., Menegon, S., Velasco, H,R. 2002. <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K Soil-to-plant Relationship in a Seminatural Grassland of the Giulia Alps, Italy. The Science of the Total Environment, 295, 69-80.

2. UNSCEAR, 2008. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Vienna.
3. Wood, M. J., and Collins, S. M. 2004. Application Radio Isotopes. Half-life Analysis, 257.
4. Ahmed, S. N. 2007. Physics and Engineering of Radiation Detection. Queen's University, Ontario, First Edition.
5. Unno, Y., Sanami, T., Hagiwara, M., Sasaki, S., and Yunoki, A. 2014. Application of Beta Coincidence to Nuclide Identification of Radioactive Samples Contaminated by the Accident at the Fukushima Nuclear Power Plant. Nuclear Science and Technology, 90-93.
6. L'Annunziata, M. F., and Kessler, M. J. 2012. Handbook of Radioactivity Analysis (Third Edition). Liquid Scintillation Analysis: Principles and Practice, 423-573.
7. Gudelis, A., Luksiene, B., Druteikiene, R., Gvozdaite, R., and Kubareviciene, V. 2006. Application of LSC for Determination of Some Radionuclides in Waste Matrices From The Ignalina NPP. University of Arizona.
8. Parks, J. E. 2001. Attenuation of Radiation. Departement of Physics and Astronomy, The University of Tennessee.
9. Liu, S., and Pospiech, M. 2004. Properties of Radioactive Materials and Methods of Measurement. Protocol for the Laboratory Work.
10. Perkin Elmer. 2004. QuantaSmart™ for the Tricarb Liquid Scintillation Analyzer. Reference Manual, Illinois.
11. Stojkovic, I., Tenjovic, B., Nikolov, J., and Todorovic, N. 2015. Radionuclide, Scintillation Cocktail and Chemical/Color Quench Influence on Discriminating Setting in Gross Alpha/Beta Measurement by LSC. Journal of Environmental Radioactivity, volume 144, 41-46.

---

## TANYA JAWAB DISKUSI

**Penanya:** Pertiwi Dian

**Pertanyaan:**

Apa yang dimaksud tSIE pada pengukuran LSC?

**Jawaban:**

Parameter tSIE merupakan spectrum standar eksternal yang digunakan untuk mengetahui pengaruh dari quenching pada pengukuran LSC. Spektrum yang digunakan berasal dari  $^{133}\text{Ba}$