

PENENTUAN EFISIENSI DAN FAKTOR KOREKSI ABSORPSI UNTUK PENGUKURAN RADIOAKTIVITAS BETA TOTAL MENGGUNAKAN KALIUM KLORIDA (KCl)

Determination of Efficiency and Absorption Correction Factors for Measurements of Beta Total Activity using Potassium Chloride (KCl)

Leons Rixson* dan Megy Stefanus

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

*E-mail korespondensi: leons@batan.go.id

ABSTRAK

Efisiensi sistem pencacah radiasi dan faktor absorpsi adalah hal penting dalam melakukan pengukuran radioaktivitas beta total pada sampel air. Residu sampel air memberikan variasi nilai massa yang beragam. Kegiatan ini dilakukan untuk menentukan efisiensi dan faktor koreksi absorpsi dengan variasi massa garam kalium klorida. Hasil percobaan menyimpulkan bahwa faktor koefisien absorpsi dengan menggunakan pencacah non aliran gas lebih rendah dibandingkan dengan koefisien absorpsi sistem yang menggunakan aliran gas. Nilai efisiensi sistem berada pada rentang $(30,26 \pm 1,53)\%$ sd $(44,67 \pm 3,22)\%$ sedangkan nilai faktor absorpsi diri yang didapat berada pada rentang 0,8196 sd 0,9969. Jumlah massa sampel yang bertambah akan memberikan nilai efisiensi dan faktor absorpsi semakin berkurang.

Kata kunci: beta total, massa sampel, faktor absorpsi, koefisien absorpsi, efisiensi

ABSTRACT

The efficiency of the radiation counting system is important in conducting total beta radioactivity measurements on water samples. Residual water samples provide varied mass values. This activity was conducted to determine the efficiency and absorption correction factor using potassium chloride salt. The experimental result concluded that absorption coefficient factor by using non gas flow is lower than the system absorption coefficient using gas flow. The system efficiency value is range $(30.26 \pm 1.53)\%$ to $(44.67 \pm 3.22)\%$ while the self-absorption factor value is range 0.8196 to 0.9969. The increased number of sample masses will provide an efficiency value and absorption factor is reduced.

Keywords: gross beta, sample mass, absorption factor, absorption coefficient, efficiency

PENDAHULUAN

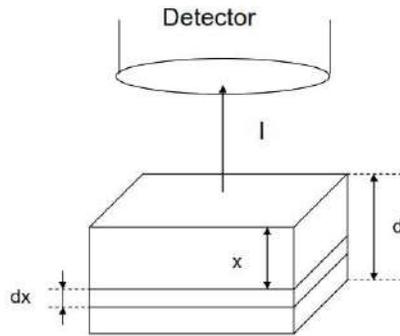
Pengukuran efisiensi sistem deteksi beta total bergantung terhadap parameter-parameter antara detektor dan sampel. Bentuk geometri detektor dan sampel, *scattering*, atenuasi antara sampel dan detektor (jarak), jenis (komposisi) sampel, massa dan ketebalan sampel, tipe radiasi yang dipancarkan, energi dan fraksi waktu peluruhan [1]. Koreksi absorpsi diri beta pada sampel air dipengaruhi oleh variasi ketebalan sampel, efisiensi sistem yang didapat berkisar antara 10 s.d 52 % bergantung terhadap komposisi bahan garam kimia dan proses presipitasi residu [2].

Sampel air di preparasi menggunakan metode evaporasi hingga menghasilkan sejumlah massa residu. Residu kemudian di pindahkan kedalam wadah planset ukuran 50 ml untuk

kemudian diukur ke sistem pencacah alpha/beta total. Bagian penting pengukuran aktivitas sampel air adalah massa residu sampel yang dihasilkan. Massa residu yang dihasilkan bergantung pada jenis dan asal air. Semakin tinggi jumlah zat padat terlarut (TDS) maka makin tinggi massa residu sampel, sebagai contoh sampel air tanah akan menghasilkan massa residu yang lebih sedikit dari sampel air sungai atau air laut.

Pada Gambar 1 terlihat apabila massa residu semakin bertambah mengakibatkan semakin tebalnya d (g/cm^2) residu sehingga menghalangi intensitas radiasi I yang menuju detektor, radiasi yang dipancarkan terhalangi oleh sampel itu sendiri yang disebut absorpsi diri. Radiasi beta yang memiliki jangkauan jarak lebih kecil dari radiasi gamma menjadi dasar utama

penentuan faktor absorpsi diri pada pengukuran radioaktivitas beta total dalam sampel air. Apabila intensitas yang berinteraksi dengan permukaan detektor sedikit maka efisiensi yang didapat akan rendah seperti terlihat pada persamaan (1).



Gambar 1. Ketebalan residu sampel menyebabkan intensitas radiasi terhalang oleh residu itu sendiri

$$\epsilon = \frac{C_{sp}}{A_{st} x \gamma} \tag{1}$$

- ε : efisiensi (%)
- C_{sp} : Laju cacah sampel (CPS)
- A_{st} : Aktivitas sumber standar (Bq)
- γ : probilitas (%)

Perhitungan konsentrasi radioaktivitas beta total yang diberikan pada persamaan (2) memberi pengertian bahwa efisiensi sistem pencacah akan sangat mempengaruhi hasil pengukuran radioaktivitas beta total pada sejumlah volume *V* sampel air. Oleh karena itu, koreksi terhadap faktor absorpsi diri harus ditentukan dalam pengukuran sampel air.

$$A_{sp} = \frac{C_{sp} - C_{Bq}}{V x \epsilon x F_a} \tag{2}$$

Terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur faktor absorpsi diri dari sejumlah sampel [3]. Metode pertama dilakukan dengan menentukan koefisien serap dari variasi ketebalan lembaran material yang diletakan antara radionuklida terhadap detektor sehingga didapatkan koefisien serap μ sebagai fungsi dari energi beta maksimum pada beberapa radionuklida, seperti ditunjukkan pada persamaan (3) [4].

$$F_a = \frac{1 - e^{-\mu x}}{\mu x} \tag{3}$$

Dimana *F_a* adalah faktor absorpsi diri, μ adalah koefisien absorpsi dalam cm²/g, dan *x* adalah ketebalan massa sampel dalam g/cm². Meskipun demikian pada faktanya koefisien serap tidak hanya bergantung terhadap energy beta maksimum namun bergantung pula terhadap distribusi dari energi beta dan bahan penyerapnya [5]. Metode kedua adalah dengan variasi massa dari sumber standar radioaktif beta yang telah homogen dengan senyawa garam seperti garam sodium karbonat, dan garam kalium klorida. Residu variasi massa dari larutan kemudian disebarkan secara merata di permukaan plasket kemudian diukur untuk mendapatkan variasi efisiensi sebagai fungsi massa sampel.

Efisiensi sistem pencacah beta dengan sumber standar pelat pada energi Sr-90 adalah 27,37 ± 0,82 % [6]. Namun, perlakuan yang diberikan pada percobaan kegiatan ini tidak menggunakan bahan pereaksi asam nitrat, asam sulfat dan kalsium sulfat seperti instruksi SNI 9697:2016. Hal tersebut dilakukan agar tidak terjadi penambahan massa residu akibat menggunakan bahan pereaksi tersebut. Nilai Rentang efisiensi sistem dengan variasi massa KCl pernah dilakukan menggunakan detektor proporsional dengan hasil 47% sd 18% untuk ketebalan sampel 10 mg/cm² sd 235 mg/cm² [7].

Pengukuran radioaktivitas lingkungan pada sampel air di Kawasan Nuklir Pasar Jumat (KNPJ) merupakan bagian pemantauan lingkungan dalam rangka memberi rasa aman, selamat serta sebagai sumber informasi kepada masyarakat bahwa kegiatan penelitian dan pengembangan isotop di KNPJ tidak mencemari lingkungan. Pemanfaatan sumber standar dengan massa tetap untuk mendapatkan efisiensi sistem dalam melakukan pengukuran beta total pada sampel air tidak tepat untuk digunakan dan mewakili efisiensi dari massa residu sampel air yang beragam.

Kajian mengenai faktor absorpsi diri beta pada sampel air merupakan hal penting untuk dilakukan untuk mendapatkan hasil yang hasil efisiensi sistem berdasarkan massa residu sampel karena sampel yang dicuplik menghasilkan massa residu yang berbeda-beda. Pada kajian ini, ruang lingkup kegiatan adalah mencari faktor absorpsi diri beta menggunakan metode sumber radioaktif beta K-40 yang terdapat pada kalium klorida (KCl) dengan menggunakan pencacah radiasi latar rendah / Low Background Counter (LBC iMatic) menggunakan detektor PIPS. Hasil

pengukuran pada kegiatan ini akan menghasilkan persamaan kurva faktor absorpsi dan efisiensi terhadap massa sampel yang akan digunakan pada hasil variasi massa residu dari sampel air. Pemilihan K-40 sebagai sumber kalibrasi disesuaikan dengan prosedur pengukuran beta total dalam air tawar yang terdapat pada SNI 9697:2016 [8].

METODE PERCOBAAN

Deskripsi Sistem Pencacah

Pengukuran radioaktivitas beta total pada sampel air pada umumnya menggunakan detektor proporsional aliran gas dan non aliran gas. Pada detektor non aliran gas tidak menggunakan faktor *cross-talk* pada sistem pencacah. *cross-talk* adalah persentase cacah alfa yang masuk ke dalam jendela beta. Sistem pencacah LBC iMatic merupakan alat ukur beta total dalam sampel air, menggunakan detektor *Passivated Implanted Planar Silicon* (PIPS) dan tidak menggunakan aliran gas untuk mengukur radioaktivitas alfa dan beta total. Sistem ini mampu mendeteksi radiasi beta dalam rentang energy 125 keV sampai dengan 2,2 MeV. *LBC iMatic* mampu menahan gangguan radiasi terestial dan kosmik dengan sistem pelindung detektor yang disebut *anti coincedance*. Sampel yang akan diukur dimasukan kedalam sample holder dan disusun secara vertical, *LBC iMatic* mampu mengukur 1 50 sampel secara simultan [9].

Peralatan dan Bahan

Kegiatan ini menggunakan bahan laboratorium seperti gelas beker, pemanas, stearer, air suling, pelarut methanol, lampu inframerah plancet ukuran diameter 50 mm, lampu cawan 100 ml dan neraca analitik 4 *digit*. Sumber standar yang digunakan adalah K-40 yang terdapat didalam garam KCl. Kalium terbagi atas 3 isotop yaitu 2 isotop stabil K-39 (93,26%) dan K-41 (6,73%), serta satu isotop pemancar radiasi beta K-40 (0.011%). Kalium 40 memiliki satu energi beta maksimum di 1,311 MeV dengan rata-rata energy 0,509 MeV, sedangkan tingkat probabilitas di alam adalah 89,33% persen

Tata Kerja

Pengukuran laju cacah latar dan efisiensi sistem dengan sumber standar plat Sr-90 dilakukan terlebih dahulu sebelum preparasi massa garam kalium KCl dilakukan. Perlakuan

garam kalium (KCl) mengikuti SNI 9697:2016 yaitu dengan melarutkan terlebih dahulu matrik padatan 12 gram KCl kedalam 2 liter volume air suling.

Proses evaporasi dilakukan hingga volume larutan mencapai 50 ml Setelah itu tuang larutan tersebut kedalam cawan 100 ml. Evaporasi kedua dilakukan untuk mendapatkan endapan residu KCl. Residu kemudian dikeringkan pada suhu konstan 105°C kemudian ditimbang dengan variasi massa 100 sampai dengan 1400 mg. Sebarkan residu secara merata (gambar 2) di atas planset dengan cara membasahi residu dengan beberapa tetes pelarut organik methanol, keringkan di bawah lampu inframerah kemudian diukur dengan *LBC iMatic* selama 60 menit.



Gambar 2. Variasi massa KCl dalam planset

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi sistem dan aktivitas K-40 dalam KCl

Penentuan efisiensi sistem pada pengukuran beta total sampel air pada umumnya menggunakan sumber standar plat Sr-90 dengan massa tetap. Sumber Sr-90 memiliki spesifikasi berdiameter 50,8 mm, ketebalan 3,18 mm dan terlapis 0,9 mg/cm² *alumized mylar*, seperti terlihat pada Gambar 3. Efisiensi sistem didapatkan dengan mengukur radionuklida pemancar beta Sr-90 pada jarak 4 mm dari detektor lalu kemudian dibandingkan terhadap aktivitasnya (Bq) sesuai dengan persamaan (1). Hasil pengukuran memberikan hasil nilai efisiensi 30,45 ± 0,92%. Kadar K-40 dalam K adalah 0.0119%, sehingga didapat jumlah atom

K-40 adalah $9,63 \times 10^{17}$. waktu paruh K-40 adalah $1,25 \times 10^9$ dan konstanta peluruhan didapat pada persamaan (4) sebesar $1,055 \times 10^{14}$.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t^{1/2}} \tag{4}$$

Aktivitas K-40 dalam 1 gram KCl adalah diferensial dari jumlah atom K-40 terhadap peluruhan (persamaan 5).

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda \times N \tag{5}$$

Sehingga didapat aktivitas K-40 dengan probabilitas 89,33% pada energi 0.509 MeV adalah 14,96 bq/g. Hasil perhitungan ini tidak jauh berbeda dengan yang dinyatakan WHO bahwa konsentrasi K-40 didalam KCl adalah sebesar 14,4 bq/g [10].



Gambar 3. Sumber standar plat Sr-90

Penentuan Kurva Efisiensi KCl

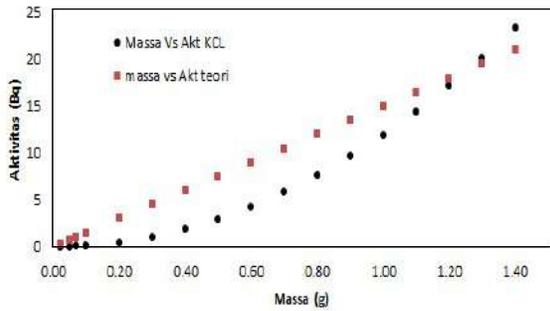
Pada Table 1 dan Gambar 1 terlihat dua fenomena pengaruh massa terhadap efisiensi.

Fenomena pertama yang dibatasi garis merah adalah peristiwa efisiensi mengalami kenaikan ketika massa KCl mulai dari 0,02 ($44,67 \pm 3,22\%$) sampai dengan 0,1 gram ($46,42 \pm 2,53\%$). Kenaikan efisiensi dikarenakan intensitas dari sampel KCl belum dipengaruhi faktor absorpsi diri atau dapat dinyatakan bahwa jumlah intensitas radiasi dari sampel KCl sepenuhnya ditangkap detektor namun demikian residu sampel tidak memenuhi seluruh permukaan plancet. Fenomena kedua adalah intensitas radiasi sampel yang menuju detektor tertahan oleh sampel itu sendiri sehingga ketika semakin bertambah massa sampel maka efisiensi akan semakin berkurang.

Pada gambar 4 terlihat variasi massa dari 0,02 sd 1,2 memberikan nilai aktivitas beta total teori lebih tinggi apabila dibandingkan dengan aktivitas beta total pengukuran namun untuk massa 1,3 dan 1,4 gram aktivitas beta total pengukuran lebih tinggi dibandingkan aktivitas teori, hal ini dapat disebabkan massa yang semakin bertambah menyebabkan intensitas radiasi semakin tinggi. Intensitas radiasi sampel tersebut tidak hanya berinteraksi dengan permukaan detektor namun dimungkinkan pula terjadi interaksi radiasi beta dengan pelindung detektor yang berbahan timbal sehingga terjadi radiasi *bremstrahlung*. Intensitas radiasi yang semakin besar menyebabkan detektor tidak dapat menangkap semua intensitas radiasi meskipun sudah mengenai permukaan detektor.

Tabel 1. Aktivitas dan efisiensi sistem berdasarkan massa sampel

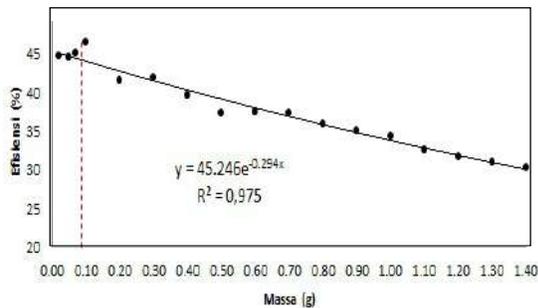
Massa Sampel (g)	Jumlah cacahan beta (g)	Massa KCL (g)	Akt Teori (Bq/g)	Eff (%)	Unc Eff	Akt KCL (Bq)
BG	37					
0,02	473	0,020	0,299	44,67	3,22	0,005
0,05	1119	0,051	0,748	44,47	2,63	0,031
0,07	1571	0,071	1,047	45,06	2,54	0,060
0,10	2287	0,101	1,496	46,42	2,53	0,121
0,20	4021	0,200	2,992	41,43	2,17	0,477
0,30	6170	0,300	4,488	41,80	2,16	1,075
0,40	7642	0,401	5,984	39,45	2,02	1,917
0,50	8988	0,500	7,480	37,21	1,90	2,985
0,60	10854	0,600	8,976	37,47	1,91	4,299
0,70	12613	0,701	10,472	37,32	1,90	5,856
0,80	13799	0,801	11,968	35,75	1,81	7,641
0,90	15188	0,901	13,464	34,98	1,77	9,678
1,00	16549	1,000	14,960	34,33	1,74	11,934
1,10	17214	1,100	16,456	32,47	1,64	14,434
1,20	18299	1,201	17,952	31,64	1,60	17,186
1,30	19372	1,300	19,448	30,93	1,56	20,162
1,40	20415	1,401	20,944	30,26	1,53	23,392



Gambar 4. Grafik massa terhadap aktivitas

Penentuan Koefisien dan faktor absorpsi

Gambar 5 menunjukkan pada nilai massa residu 0,02 sd 0,10 gram efisiensi cenderung naik karena intensitas radiasi yang dihasilkan tersebut ditangkap dan berinteraksi sepenuhnya dengan permukaan detektor. Pada massa KCl 0,1 gram didapatkan efisiensi tertinggi namun setelah itu semakin bertambah massa menghasilkan efisiensi sistem semakin berkurang, hal ini dapat disebabkan karena bertambahnya intensitas radiasi yang semakin tinggi menyebabkan semakin banyak radiasi yang tidak diukur oleh sistem pencacah selain itu adalah itu faktor absorpsi diri sampel yang turut serta mempengaruhi efisiensi sistem. Gambar 5 juga membuktikan bahwa pengaruh variabel massa terhadap nilai efisiensi memiliki nilai 0,975 dengan nilai koefisien korelasi *R* yang sangat kuat sebesar 0,987. Koefisien korelasi yang sangat kuat antara massa dan efisiensi memberi makna bahwa penurunan efisiensi disebabkan faktor penambahan massa.



Gambar 5. Grafik massa terhadap efisiensi

Pada persamaan 1 terlihat bahwa faktor koreksi absorpsi diri *F_a* dipengaruhi oleh koefisien absorpsi μ . Nilai koefisien pada percobaan didapat dari hasil fitting fungsi massa terhadap efisiensi yang diperlihatkan pada

gambar 5. Oleh karena itu, Persamaan (1) dapat kita rubah menjadi persamaan (6).

$$\epsilon(x) = \epsilon_{(0)} \frac{1 - e^{-pw}}{pw} \tag{6}$$

Dimana $\epsilon_{(0)}$ adalah representasi nilai efisiensi tidak ada faktor absorpsi sedangkan $\epsilon_{(x)}$ adalah efisiensi pada massa *x*. nilai *p* adalah nilai fitting parameter dalam g^{-1} dan *w* adalah massa sampel dalam g. Koefisien absorpsi didapat dengan persamaan (7), dimana μ adalah koefisien absorpsi dalam cm^2/g dan *s* adalah luas permukaan planset cm^2 sebesar 15.643 cm^2

$$\mu = p \times s \tag{7}$$

Nilai *p* yang ditunjukkan pada gambar 5 adalah 0,294 sehingga didapatkan nilai koefisien absorpsi adalah 5,775 cm^2/g . nilai koefisien absorpsi dengan detektor PIPS pada kegiatan ini lebih rendah apabila dibandingkan dengan koefisien absorpsi menggunakan detektor proposional aliran gas, seperti yang dilaporkan oleh Li Pujol sebesar 9,617 $\pm 0,08 cm^2/g$ [11] dan juga percobaan oleh Valentine dengan nilai 8,287 $\pm 0,17 cm^2/g$ [12], perbedaan ini disebabkan keunggulan kepadatan material detektor sintilasi (PIPS) dibandingkan dengan detektor aliran gas proposional.

Faktor absorpsi diri dapat dihitung dengan menyederhanakan persamaan 6 menjadi persamaan (8) [13].

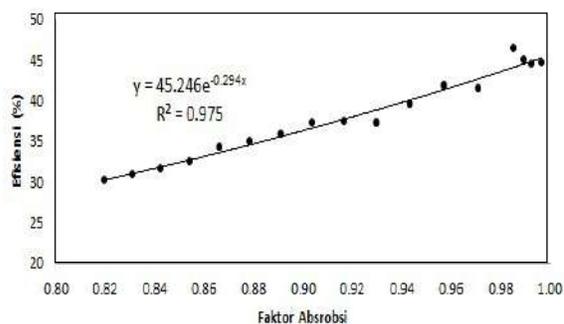
$$F_a = \frac{\epsilon(x)}{\epsilon_{(0)}} \tag{8}$$

Pada Tabel 2 terlihat hasil $\epsilon_{(0)}$ berada pada rentang (36,92 $\pm 1,86$ sd 44,81 $\pm 3,23$)% sedangkan faktor absorpsi adalah 0,8196 sd 0,997. Tabel 2 juga menyatakan bahwa semakin bertambah massa KCl maka faktor absorpsi akan semakin berkurang namun berbanding terbalik dengan jumlah cacahan intensitas radiasi yang akan semakin bertambah (tabel 1). Grafik pada gambar 6 menunjukkan bahwa faktor absorpsi dari sejumlah massa (mg) sampel tidak melebihi nilai 1. Semakin tinggi nilai faktor absorpsi maka nilai efisiensi akan semakin tinggi.

Tabel 2. Faktor absorpsi radiasi beta berdasarkan massa sampel

Massa sampel (g)	Eff (%)	Unc Eff (%)	Akt KCl (Bq)	Unc Akt	Eff (0) (%)	Unc Eff (0) (%)	Fa
0,02	44,67	3,22	0,005	0,000	44,81	3,23	0,997
0,05	44,47	2,63	0,031	0,002	44,81	2,65	0,992
0,07	45,06	2,54	0,060	0,003	45,54	2,57	0,990
0,10	46,42	2,53	0,121	0,006	47,12	2,56	0,985
0,20	41,43	2,17	0,477	0,024	42,66	2,24	0,971
0,30	41,80	2,16	1,075	0,054	43,67	2,26	0,957
0,40	39,45	2,02	1,917	0,096	41,83	2,15	0,943
0,50	37,21	1,90	2,985	0,149	40,02	2,05	0,930
0,60	37,47	1,91	4,299	0,215	40,88	2,08	0,917
0,70	37,32	1,90	5,856	0,293	41,30	2,10	0,904
0,80	35,75	1,81	7,641	0,382	40,13	2,04	0,891
0,90	34,98	1,77	9,678	0,484	39,82	2,02	0,878
1,00	34,33	1,74	11,934	0,597	39,63	2,01	0,866
1,10	32,47	1,64	14,434	0,722	38,01	1,92	0,854
1,20	31,64	1,60	17,186	0,859	37,55	1,90	0,843
1,30	30,93	1,56	20,162	1,008	37,22	1,88	0,831
1,40	30,26	1,53	23,392	1,170	36,92	1,86	0,820

Sebuah simulasi dengan persamaan matematika *montecarlo* dilakukan untuk menentukan ketebalan massa sampel (mg/cm^2) ideal pada nuklida pemancar beta memberikan hasil nilai $25 \text{ mg}/\text{cm}^2$ [14]. Nilai tersebut apabila dibandingkan pada percobaan ini setara dengan nilai massa 0,5 gram yang memiliki efisiensi 37,21%, namun penentuan massa ideal sampel ideal harus melihat sebaran sampel yang menutupi permukaan planset. Pada percobaan ini massa ideal ditentukan pada nilai massa 0,4 gram karena nilai efisiensi yang dihasilkan pada massa tersebut lebih tinggi dibandingkan massa 0,5 gram.



Gambar 6. Faktor absorpsi terhadap efisiensi

KESIMPULAN

Faktor koreksi absorpsi diri adalah hal yang harus dilakukan dalam melakukan pengukuran beta total pada sampel air. Percobaan

ini memberikan hasil bahwa semakin tinggi nilai massa sampel maka nilai efisiensi sistem akan semakin rendah.. Nilai aktivitas teori akan lebih tinggi dibandingkan dengan nilai aktivitas pengukuran hingga massa sampel 1,2 gram.

Nilai koefisien absorpsi pada percobaan ini yang menggunakan detektor PIPS menghasilkan nilai lebih rendah dibandingkan dengan percobaan sebelumnya yang menggunakan detektor proporsional aliran gas. Faktor koreksi absorpsi diri tidak akan melebihi dari nilai 1 serta semakin tinggi nilai faktor absorpsi maka semakin tinggi nilai efisiensi sistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada seluruh staf Bidang Keselamatan Kerja dan Lingkungan, atas bantuan bapak/ibu hingga tersusunnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1]. M. A. and B. Kahn, *Radioanalytical Chemistry Experiments*. Springer Science and Business Media, 2008.
 [2]. M. Š. Urška Repinc, Borut Smodiš, “Optimization of Measurements Procedures for Determination of Beta Emitters Using a Proportional Counter,” in *International Conference Nuclear Energy for New Europe 2006*, 2006.
 [3]. L. Baker, R. G., Katz, “Absolute beta

- counting of thick planar samples,” *Nucleon. 11, 14.*, 1953.
- [4]. J. L. Chase, G. D., Rabinowitz, “Principles of Radioisotope Methodology,” *Burgess Publ. Company, Minneap.*, 1967.
- [5]. H. S. Yi, C. Y., Han, H. S., Jun, J. S., Chai, “Mass attenuation coefficients of b + - particles,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 51, p. 217, 1999.
- [6]. L. Rixson, Megy Stefanus, Niken Hayudanti, Prihatiningsih, “Kajian Radioaktivitas Beta Total Pada Sampel Air Keran dan Air Permukaan di Sekitar Kawasan Nuklir Pasar Jumat,” in *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2016*, 2016, pp. 36–1--36–7.
- [7]. M. Strok, Urska Repinc, Borus Smodis, “Calibration and Validation of Proportional Counter for Determining Beta Emitters,” *J. Power Energy Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 573–581, 2008.
- [8]. S. 9697:2016, “Mutu air – Aktivitas beta total dalam air tawar – Metode uji menggunakan sumber tebal,” 2016.
- [9]. I. Canberra, “iMatic™ Automatic LB Counting System,” in *User’s manual*, 2008.
- [10]. WHO, *Guidelines for Drinking-Water Quality*. Geneva, 2013.
- [11]. P. L. J. A. Suarez-Navarro, “Self-absorption correction for beta radioactivity measurements in water samplesNo Title,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 60, pp. 693–702, 2004.
- [12]. V. C. J. Kratky, A. Brandl, “Investigation of Alpha Beta Self-Absorption Factors in the Calibration of Water Sample Measurements,” *www.Health-Physics.com*, vol. 103, pp. S124–S130, 2012.
- [13]. ICRU, “Measurement of low-level radioactivity,” Washington, 1972.
- [14]. A. Martin Sanzhes, G. Saenz Garcia, M. Jurodo Vargas, “Study of self-absorption for the determination of gross alpha and beta activities in water and soil samples,” *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 67, pp. 817–820, 2009.

PERTANYAAN SAAT PRESENTASI

1. Pertanyaan (Firliyani (PAIR-BATAN)):

- 1) Kenapa pengukuran menggunakan KCl?

Jawaban:

- 1) Karena KCl mengandung radionuklida kalium-40 (K-40) yang memancarkan radiasi beta 14,96 Bq/gram.

2. Pertanyaan (Harum (PAIR-BATAN)):

- 1) Sampel/air jenis apa saja yang bisa diukur menggunakan metode ini?

Jawaban:

- 1) Sampel air yang dapat diukur totalnya adalah air tanah, air permukaan, air minum, air limbah, dan air laut. Lebih singkatnya air yang dicurigai mengandung radioaktivitas alam maupun radioaktivitas antropogenik.