

SELF-ABSORPTION COMPUTING OF PHOTON GAMMA IN VOLUMETRIC SAMPEL

Masril

Dosen Jurusan Fisika FMIPA UNP

Have been measurement of gamma ray self-absorption in volumetris sampel for the cylinder and ball with dimension are as follows ;

For the Cylinder of : Radius (R) = 0,05 cm and high (D) = 0,01 cm;

R = 0,05 cm and D = 0,001 cm;

R = 0,025 cm and D = 0,001 cm of with density (ρ) = 8,71 gram / cm³. For the ball of radius (R) = 0,05 cm and R = 0,025 cm of with density = 1,87 gram / cm³. Measurement of total absorption coefficient (μ) to each gamma photon energy transmitted by each source use equation:

$$\mu = \rho N \frac{Z}{A} (e^{\tau} + e^{\sigma} + e^{\lambda})$$

The results are as follows : For sample (Co-57) with gamma energy 0,014 MeV, 0,122 MeV and 0,136 MeV are 102371,2 / cm, 59,0 / cm and 40,6 / cm. For source (Cs-37) with gamma energy 0,662 MeV is 1,1 / cm. This Value absorption coefficient is used to calculate self-absorption by computer program.

Result of self-absorption computing of with computer (using Monte-Carlo methods) showing the existing algorithm and computer programme especially for low energy.

Key words : self-absorption, gamma rays, computer program

PENDAHULUAN

Salah satu faktor yang menentukan ketelitian hasil pengukuran aktivitas sumber radioaktif ialah koreksi terhadap adanya swaserapan. Swaserapan merupakan salah satu masalah cukup rnenarik di bidang fisika nuklir. Eksperimen-eksperimen di bidang fisika nuklir yang menyinggung masalah ini maupun terapannya sudah banyak dilakukan (Bauman, 1965, Kouris, 1982; Kusminarto 1986).

Pada pengukuran aktivitas sumber radioaktif atau pengukuran konsentrasi elemen kimia dalam sampel, baik dengan induksi partikel maupun induksi foton (teknik aktivasi) selalu melibatkan sampel yang mempunyai volume dan tidak dapat dianggap sebagai titik, hal ini berpengaruh pada cacah radiasi foton yang tertangkap oleh detektor. Foton gamma yang dipancarkan oleh inti yang terletak di bagian dalam sampel akan menagalami serapan yang lebih besar daripada foton gamma yang dipancarkan oleh inti di bagian luar sampel.

Dengan adanya serapan foton gamma oleh sampel itu sendiri (self-absorption), maka cacah radiasi foton gamma yang tertangkap oleh detektor tidak lagi mempresentasikan elemen sampel atau aktivitas sumber radiasi tersebut. Besar kecilnya persentase radiasi sinar yang diserap oleh sampel bergantung pada tenaga gamma, kerapatan, model, dimensi, dan koefisien serapan sample dengan persamaan

$$\mu = \rho N \frac{Z}{A} (e^{\tau} + e^{\sigma} + e^{\kappa}).$$

Dimana : $e^{\tau}, e^{\sigma}, e^{\kappa}$ adalah kebolehjadian terjadinya efek fotolistrik, efek Compton dan efek produksi pasangan, dengan rumus :

$$e^{\tau} = \phi_0 Z^5 \left[\frac{1}{137} \right]^4 4\sqrt{2} \left[\frac{m_0 c^2}{h\nu} \right]^{7/2}$$

$$e^{\sigma} = \frac{3}{4} \phi_0 \frac{(1+\alpha)}{\alpha^2} \left[\frac{2(1+\alpha)}{1+2\alpha} - \frac{1}{\alpha} \ln(1+2\alpha) + \frac{1}{2\alpha} \ln(1+2\alpha) \right] - \frac{1+3\alpha}{(1+2\alpha)^2}$$

$$e^{\kappa} = \frac{\phi_0}{Z} \left\{ \frac{28}{9} \ln 2\alpha - \frac{218}{27} - \frac{1}{\alpha} \left[\frac{4}{3} (\ln 2\alpha)^3 - 3(\ln 2\alpha)^2 + 6,84(\ln 2\alpha) + 21,51 \right] \right\}$$

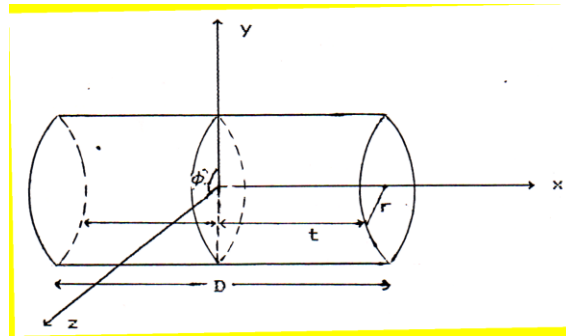
Agar hasil pengukuran aktivitas sumber radioaktif menjadi lebih teliti, maka koreksi terhadap adanya swaserapan ini perlu dilakukan. Peterman (1972) telah menghitung swaserapan dalam sample berbentuk silinder, kotak dan bola. Algoritma yang digunakan adalah sebagai berikut :

Dimensi silinder ditentukan dengan jejari (R) dan tebal (D). Titik asal sistem koordinat dipilih pada pusat silinder. Angka-angka acak (q) dibangkitkan untuk mensimulasikan posisi sumber (r, ϕ , t), dengan : $r = Rq$, $\phi = 2\pi q$ dan $t = 1/2Dq$, dalam koordinat cartesian menjadi : $x = t$, $y = r \sin \phi$, $z = r \cos \phi$

Pancaran radiasi gamma dalam peristiwa ini dianggap bersifat isotropis dalam ruang, sehingga arahnya dapat dibangkitkan secara acak, yaitu dinyatakan oleh sudut polar p dan sudut azimut ϕ dengan $\phi = 2\pi q$ dan $\vartheta = \pi q$

Komponen-komponen pada masing-masing sumbu koordinat dari vektor satuan yang menunjukkan arah radiasi adalah :

$$w = \cos \vartheta; \rho = (1 - w^2)^{1/2}; \quad u = \rho \cos \phi; \quad \text{dan } v = \rho \sin \phi$$



Gambar 1. Sistem koordinat silinder

Jarak yang ditempuh oleh radiasi gamma, yaitu jarak antara posisi titik sumber dengan titik tempat terjadinya serapan fotolistrik atau hamburan Compton yaitu $s = -\ln(q)/\mu$ dengan μ adalah koefisien pelemahan total dalam satuan cm^{-1} . Koordinat titik tempat terjadinya interaksi fotolistrik atau hamburan Compton adalah (x', y', z') dengan $x' = x + us$, $y' = y + vs$ dan $z' = z + ws$

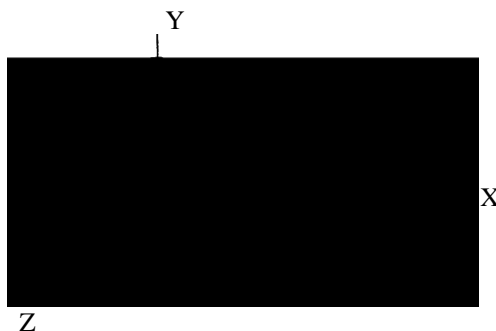
Pada langkah ini suatu prosedur pengecekan dilakukan, yaitu menentukan apakah titik serapan atau hamburan berada dalam sumber yang sedang ditinjau. Jika titik: (x', y', z') berada di dalam sumber, berarti terjadi swaserapan, dan kejadian ini dicatat. Langkah-langkah tersebut dilakukan untuk titik sumber sebanyak mungkin agar didapatkan hasil yang baik.

Untuk sampel berbentuk bola dapat ditentukan dengan dimensi bola, jejari R, dan pusat bola ditempatkan pada pusat koordinat. Posisi titik sumber dinyatakan oleh (r, ϕ, ϑ) yaitu : $r = Rq$, $\phi = 2\pi q$ (sudut azimuth) dan $\vartheta = \pi q$ (sudut polar, dalam koordinat Cartesian menjadi (x, y, z) , dengan :

$$x = r \sin \vartheta \cos \phi$$

$$y = r \sin \vartheta \sin \phi$$

$$z = r \cos \vartheta$$



Gambar 2. Sistem koordinat bola

Selanjutnya dalam menentukan arah radiasi, koordinat titik interaksi, serta prosedur pengecekan letak titik interaksi dilakukan seperti pada model silinder.

Dengan menggunakan algoritma untuk sample berbentuk silinder dengan diameter 1 mm dan tebal 0,1 mm, hasil perhitungannya menunjukkan bahwa untuk tenaga gamma rendah (14,4 keV) diperoleh swaserapan 90%, untuk tenaga gamma di atas 100 keV diperoleh swaserapannya di bawah 10 %. Untuk sampel yang lebih tipis (tebal 0,01 mm) swaserapannya masih cukup besar (44%) pada tenaga gamma rendah (14,4 keV). Sementara itu swaserapan di bawah 1 % terjadi pada tenaga gamma di atas 100 keV. Dari perhitungan ini jelas bahwa pengaruh swaserapan terhadap hasil pengukuran radiasi cukup besar, terutama untuk tenaga gamma rendah.

Berdasarkan algoritma yang telah diuraikan dan hasil yang diperoleh di atas, maka penulis membuat program computer yang dapat digunakan untuk menghitung swaserapan dalam bentuk volumetric. Hal ini perlu dilakukan sebagai salah satu upaya untuk lebih meningkatkan ketelitian dalam pengukuran aktivitas suatu sumber radioaktif mengingat kedudukan swaserapan sebagai faktor koreksi, yang pada gilirannya akan sangat membantu dalam usaha perlindungan radiasi.

METODE PENELITIAN

Dalam melakukan penelitian, penulis membuat suatu rancangan program komputer dengan menggunakan bahasa programan Turbo Pascal dengan input sebagai berikut :

1. Memasukkan input sumber radiasi radioaktif yang dipakai, yaitu energi (E), nomor massa (A), nomor atom (Z) dan massa jenis (ρ). Untuk sumber Co-57, energinya adalah sebagai berikut : 0,014 MeV, 0,122 MeV, 0,136 MeV dengan nomor massanya 57 dan nomor atomnya 27 dan massa jenisnya $8,71 \text{ gram/cm}^3$. Untuk sumber Cs-137, energinya 0,662 MeV dengan nomor massanya 137, nomor atom 55 dan massa jenisnya $1,87 \text{ gr/cm}^3$.
2. Menghitung koefisien serapan linear total (μ).
3. Memilih model sample geometris yang berbentuk bola dan silinder.
4. Memasukkan input sampel yang dipilih yaitu jari-jari (R), panjang (P), dan lebar (L). Pada sampel berbentuk silinder, jari-jari yang digunakan adalah :
 - R = 0,05 cm dengan diameter 0,01 cm dan 0,001 cm.
 - R = 0,025 cm dengan diameter 0,001 cm.

Sedangkan pada sampel berbentuk bola, jari-jari yang digunakan adalah 0,05 cm dan 0,025 cm.

5. Menghitung cacah radiasi sebanyak 5000 kali secara iteratif.
6. Menentukan posisi sumber secara acak.
7. Menentukan posisi interaksi secara acak dengan metode Monte Carlo.
8. Mencek apakah interaksi terjadi dalam sampel atau tidak ? kalau iya berarti terjadi cacah dalam sampel, kalau tidak akan diulang dari awal sampai cacah 5000 kali.
9. Jika jumlah cacah = 5000 kali, maka persentase swaserapan yang terjadi dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ swaserapan} = \text{cacah}/N \times 100 \%$$
10. Selesai

HASIL DAN DISKUSI

Hasil dari perhitungan program yang dibuat disajikan dalam tabel 1 untuk sampel berbentuk silinder, dan tabel 2 untuk sampel berbentuk bola. Kemudian hasil tersebut dibandingkan dengan acuan sesuai dengan sumber Co-57 dan Cs-137.

Tabel 1. Swaserapan Sumber Radiasi Berbentuk Silinder dengan Sumber Co-57 dan Cs-137 Untuk Berbagai Energi.

Sumber	Energi (E) (MeV)	Koefisien Serapan (μ)	R=0,05 cm D=0,01 cm		R=0,05 cm D=0,001 cm		R=0,025 cm D=0,001 cm	
			Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)
Co-57	0,014	102371,2	99,2	90,3	98,7	44,2	98,5	44,0
	0,122	59,0	32,9	3,0	7,4	0,44	6,9	0,35
	0,136	40,6	25,6	1,85	5,6	0,3	5,2	0,28
Cs-137	0,662	1,1	1,12	0,1	0,24	0,02	0,22	-

Tabel 2. Swaserapan Sumber Radiasi Berbentuk Bola dengan Sumber Co-57 dan Cs-137 Untuk Berbagai Energi.

Sumber	Energi (E) (MeV)	Koefisien Serapan (μ)	R=0,05 cm		R=0,025 cm	
			Exp. (%)	Teori (%)	Exp. (%)	Teori (%)
Co-57	0,01 4	102371,2	99,6	99,98	99,3	99,97
	0,122	59,0	73,6	7,0	8,8	5,4
	0,136	40,6	66,3	67,2	49,8 ,	47,8
Cs-137	0,662	1,1	4,8	4,1	2,5	2,1

Sesuai dengan tabel di atas, swaserapan foton energi 0,014 MeV, 0,122 MeV dan 0,316 MeV sumber Co-57 dan 0,662 sumber Cs-137 masing-masing dihitung untuk sampel berbentuk silinder dan bola dengan massa jenis masing-masing 8,71 gr/cm³ dan 1,87 gr/cm³.

Hasil perhitungan swaserapan model silinder tidak cocok sama sekali dengan hasil perhitungan (teori) yang dilakukan oleh Peterman (1972). Hasil ini disebabkan oleh karena nilai koefisien serapan linear (μ) tidak sama pada kedua perhitungan tersebut. Peterman menggunakan nilai koefisien serapan dari perhitungan Storm dan Israel, Los Alamos Scientific Laboratory Report No. 3753 (1967) yang tidak dipunyai peneliti dan pada paper Peterman, nilai tersebut tidak dicantumkan. Perhitungan nilai μ yang digunakan dalam penelitian seharusnya Z^5 . Besarnya eksponen yang digunakan dalam perhitungan akan sangat berpengaruh terhadap hasil yang diperoleh. Untuk tenaga foton gamma di atas 0,35 MeV, nomor atom (Z) berpangkat antara 4 dan 5, untuk tenaga foton gamma 1,13 MeV, Z berpangkat kurang lebih 4,5 dan untuk tenaga foton gamma 2,65 MeV, Z berpangkat 4,6 (Kaplan, 1954). Berdasarkan penjelasan di atas, maka perhitungan koefisien secara total untuk tenaga gamma 0,662 MeV dengan sumber Cs-137 menunjukkan bahwa nomor atom Z tidak berpangkat 5. Hasil perhitungan dengan program yang dibuat bahwa hasil terbaik untuk nilai Z adalah 4,15. Jadi di sini nilai koefisien serapan sudah berbeda dengan persamaan yang digunakan.

Andaikata perbedaan tersebut hanya disebabkan oleh perbedaan μ yang digunakan, mestinya memberikan hasil dengan pola yang sama, meskipun ada perbedaan dalam orde besar swaserapan. Keadaan ini dapat dilihat dalam tabel 1 untuk dimensi yang sama, semakin besar energi semakin kecil swaserapannya. Sedangkan untuk energi foton yang sama, swaserapannya semakin kecil. Dengan demikian program yang di buat ini tidak salah, namun belum dapat dikatakan betul-betul benar tanpa menggunakan nilai μ yang sama.

Perhitungan untuk sumber radiasi berbentuk bola tidak dilakukan oleh Peterman. Oleh karena itu hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan rumus yang diturunkan oleh Francois (1974) dengan nilai μ yang sama dengan nilai μ pada penelitian ini. Hasil yang diperoleh tabel 2 menunjukkan adanya kecocokan hasil untuk berbagai energi dan dimensi sampel. Dengan demikian hasil ini merupakan verifikasi dari program yang di buat.

Untuk lebih mencocokkan kebenaran dari program yang dibuat, penulis mencoba menguji dengan hasil eksperimen yang dilakukan di laboratorium untuk sample yang mempunyai dimensi yang lebih besar. Perhitungan secara eksperimen dilakukan dengan pengukuran intensitas I_0 tanpa bahan penyerap dan perhitungan I_x dengan memakai bahan

penyerap. Kemudian dicari selisih antara I_0 dan I_x (ΔI). Swaserapan yang diperoleh dicari dengan persamaan : $\frac{\Delta I}{I_0} \times 100\%$. Hasil eksperimen yang diperoleh dibandingkan dengan hasil yang didapat secara perhitungan computer (simulasi) seperti dalam table 3 di bawah.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Swaserapan Sinar Gamma Dalam Sampel Untuk Masing-masing Energi

BENTUK SAMPEL	TITIK SUMBER	PERHITUNGAN SWASERAPAN SINAR GAMMA DALAM SAMPEL							
		E= 0.662 MeV		E =1.271 MeV		E = 1.173		E = 1.332	
		SIMULASI	EKSPERIMEN	SIMULASI	EKSPERIMEN	SIMULASI	EKSPERIMEN	SIMULASI	EKSPERIMEN
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Kotak 6x6x14,5 (cm)	4.85 0 0	23.97 ± 1	22 ± 2	17.89 ± 1	15 ± 3	18.25 ± 1	17 ± 2	16.12 ± 1	13 ± 2
	2.85 0 0	25.28 ± 1	23 ± 2	18.84 ± 1	16 ± 2	19.26 ± 1	18 ± 2	17.05 ± 1	15 ± 2
	0.85 0 0	25.63 ± 1	25 ± 2	19.16 ± 1	17 ± 2	19.57 ± 1	20 ± 3	17.37 ± 1	15 ± 3
	-1.85 0 0	25.59 ± 1	24 ± 2	19.15 ± 1	16 ± 3	19.58 ± 1	19 ± 2	17.35 ± 1	15 ± 2
	-3.85 0 0	25.10 ± 1	23 ± 2	18.87 ± 1	16 ± 2	19.31 ± 1	19 ± 2	17.08 ± 1	14 ± 2
	-5.85 0 0	23.72 ± 1	21 ± 3	17.76 ± 1	15 ± 2	18.15 ± 1	18 ± 2	16.11 ± 1	13 ± 3
Silinder R= 3 cm l = 16.5 cm	6.05 0 0	23.77 ± 1	22 ± 2	17.76 ± 1	15 ± 2	18.13 ± 1	16 ± 2	15.99 ± 1	13 ± 2
	3.75 0 0	25.39 ± 1	23 ± 2	18.97 ± 1	16 ± 2	19.30 ± 1	18 ± 3	17.15 ± 1	15 ± 2
	1.75 0 0	25.80 ± 1	24 ± 3	19.32 ± 1	17 ± 3	19.73 ± 1	20 ± 2	17.49 ± 1	15 ± 3
	-0.75 0 0	23.86 ± 1	25 ± 2	19.37 ± 1	18 ± 2	19.80 ± 1	21 ± 2	17.55 ± 1	15 ± 2
	-3.25 0 0	23.53 ± 1	23 ± 2	19.15 ± 1	17 ± 2	19.58 ± 1	20 ± 2	17.36 ± 1	14 ± 2
	-5.50 0 0	24.47 ± 1	21 ± 2	18.36 ± 1	15 ± 3	18.77 ± 1	16 ± 2	16.61 ± 1	13 ± 3
Bola R= 3.7 cm	3 0 0	22.51 ± 1	20 ± 2	16.78 ± 1	15 ± 2	17.16 ± 1	17 ± 3	15.12 ± 1	14 ± 2
	2 0 0	25.69 ± 1	21 ± 2	19.09 ± 1	16 ± 3	19.50 ± 1	17 ± 2	17.10 ± 1	15 ± 2
	1 0 0	27.09 ± 1	23 ± 3	20.17 ± 1	17 ± 2	20.54 ± 1	18 ± 2	18.15 ± 1	16 ± 3
	0 0 0	27.54 ± 1	24 ± 2	20.46 ± 1	18 ± 2	20.88 ± 1	19 ± 2	18.43 ± 1	16 ± 2
	-1 0 0	27.27 ± 1	24 ± 3	20.21 ± 1	17 ± 3	20.62 ± 1	19 ± 2	18.19 ± 1	15 ± 3
	-2 0 0	25.98 ± 1	23 ± 2	19.30 ± 1	16 ± 2	19.66 ± 1	17 ± 2	17.39 ± 1	15 ± 2
-3 0 0	22.71 ± 1	21 ± 2	16.94 ± 1	16 ± 2	17.27 ± 1	16 ± 2	15.21 ± 1	14 ± 3	

Dari hasil yang diperoleh dapat dijelaskan bahwa antara hasil simulasi dan eksperimen terdapat hasil yang bersesuaian.

Untuk tenaga gamma yang semakin besar maka swserapannya semakin kecil, dan sebaliknya untuk tenaga gamma yang rendah swserapannya semakin besar. Hal ini disebabkan oleh tenaga foton yang kuat dipancarkan oleh inti yang terletak di bagian dalam sampel akan mampu menembus sampel, sehingga hanya sedikit foton gamma yang diserap oleh sampel. Sedangkan foton gamma yang mempunyai tenaga rendah, kekuatan menembusnya kecil. Karena daya tembusnya yang relatif kecil, maka foton gamma bertenaga rendah akan lebih banyak mengalami penyerapan di dalam sampel. Kemampuan menembus dari foton gamma semakin mengecil seiring dengan menurunnya tenaga gamma, yang akibatnya semakin membesarnya foton gamma yang terserap oleh sampel. Untuk titik-

titik sumber yang terletak semakin ke pusat sampel, swaserapannya semakin besar, sedangkan semakin jauh dari pusat, semakin kecil swaserapannya.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan, maka penulis menyimpulkan bahwa hasil swaserapan yang diperoleh dihitung secara komputasi dan dibandingkan dengan acuan dan hasil eksperimen menunjukkan adanya kesesuaian, terutama untuk sampel berbentuk bola dengan berbagai tingkat energi. Dengan artian bahwa program yang dibuat berdasarkan algoritma dapat digunakan untuk menghitung swaserapan dalam sample volumetris.

BAHAN ACUAN

- Dickens, J. K., 1972, **Self Absorption of Gamma Rays Produced in Large Cyndrical Sample**, Nucl . inst.Meth, 98 Ha1451-4.54.
- Francois , J. P. , 1974 , **On the Calculation ofthe Self-absorption in spherical Radioactive Sources**, Nucl. Inst. Meth, 117, Hal. 153-156.
- Gopal, S. , 1973, **Gamma Ray Attenuation Coefficient Measurement**, Phys. Rev, A. G , Hal : 1.921-1.916.
- Goswani, B. , Chudhury , N. , 1973, **Measurement of Gamma-Ray Attenuation Coefficient** , Phys. Rev., A, hal. 2.814 -2.818.
- Gotoh, H, 1973, **Calculation of the Self-Absorption of Gamma Rays In a Disc Shaed Sources**, Nucl. Inst. Meth., 107, hal. 199.
- Kaplan, Irving, 1954, **Nuclear Physics**, Addison-Wesley Publishing Company , Inc , London.
- Kusminarto, 1986, **Study and Development of Technique in Computerized Neutron Tomography**, Disertasi, Univ. of. Surrey.
- Peterman , B. F. , 1972, **Monte Carlo Calculation of The Self-absorption of Gamma Rays in a Disc Shaping Source**, Nucl. Inst. Meth, 100, Hal. 611-612.

