

PENENTUAN TEBAL PERISAI RADIASI GAMMA ISOTOP DENGAN SPEKTRUM ENERGI YANG KOMPLEK

Sri Mulyono Atmojo* Abdul Jalil*
Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir- BATAN

ABSTRAK

Telah dilakukan suatu perhitungan untuk menentukan tebal shielding gamma dari isotop pemancar radiasi gamma yang komplek. Studi perhitungan ini dilakukan untuk memperoleh besarnya nilai tebal shielding yang terbuat dari timbal dan untuk menentukan spektrum energi gamma yang harus diberi perisai. Metode yang digunakan adalah menghitung paparan setiap energi radiasi berdasar prosentase pancarannya. Selanjutnya hasil perhitungan ini diterapkan pada tabel ketebalan perisai timbal terhadap faktor pengurangan dosis untuk berkas radiasi yang lebar, akan diperoleh nilai tebal perisai setiap energi gamma dari isotop pemancar gamma yang komplek. Berdasar nilai tersebut dapat ditentukan tebal yang diperlukan di dalam merekayasa perisai radiasi gamma. Contoh hasil perhitungan dari ^{192}Ir memperlihatkan bahwa radiasi gamma dengan energi tertinggi tidak selalu yang harus diproteksi. Berdasar pada hasil dari perhitungan ini dapat disimpulkan bahwa radiasi gamma yang memberikan laju dosis tertinggi merupakan radiasi yang perlu diproteksi.

Kata kunci: perisai, radiasi gamma, energi komplek

ABSTRACT

A calculation of gamma shields thickness for isotope having a complex gamma spectrum was investigated. The aim of calculation study is carried out to find the shield thickness made by lead, and to determine the gamma spectrum that would be protected. The method to be used in this study is by calculation the intensity of every gamma energy spectrum basically on the percent of radiation activity. Furthermore, the result of the calculation is applied to a table of the lead shield thickness and dose reduction factor. By this the lead shield thickness for every gamma energy spectrum from the isotope can be defined. Basically this result, can be used to determine the thickness of lead shield in which gamma radiation shield will be fabricated. As an example, the highest gamma spectrum isotope of ^{192}Ir not always shall be protected, but gamma spectrum that gives a highest dose shall be protected.

Keywords : shielding, gamma radiation, complex energy

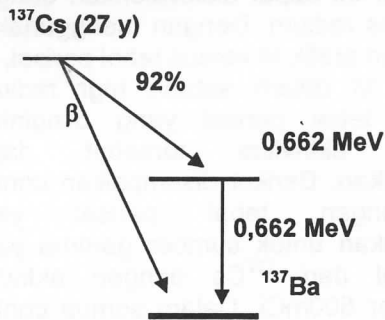
PENDAHULUAN

Pada pemanfaatan radiasi gamma dari isotop dengan spektrum energi yang komplek, seringkali memerlukan perhatian dan pemahaman yang benar, terutama terkait dengan proteksi radiasi, sehingga pemanfaatan radiasi gamma cukup aman digunakan. yaitu spektrum energi dengan lebih dari satu. Salah satu kegiatan proteksi radiasi adalah masalah pembuatan perisai atau kontainer penyimpanan sumber radiasi gamma. Dihasilkan

penggunaan perisai atau kontainer akan dapat memenuhi kriteria keselamatan radiasi. Seperti diketahui, bahwa paparan radiasi yang melewati perisai atau kontainer yang direkomendasikan oleh BAPETEN adalah 0,05 mR/jam pada jarak 1 meter. ^[1]

Secara umum, radiasi gamma yang digunakan dalam kegiatan di laboratorium, berasal dari peluruhan (desintegrasi) dari unsur-unsur (isotop) yang tidak stabil. Sebagai contoh, peluruhan isotop ^{137}Cs (cesium 137) seperti terlihat

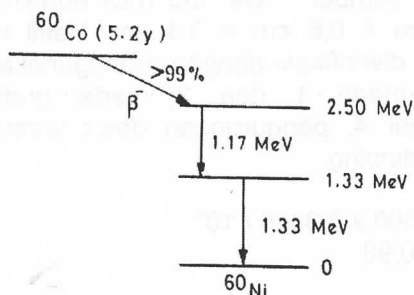
pada Gambar 1. Cesium meluruh dengan memancarkan radiasi kuantum



Gambar 1. Skema peluruhan isotop ^{137}Cs

gamma dengan energi tunggal sebesar 0,662 MeV, untuk menjadi unsur ^{137}Ba (barium 137) yang stabil.^[2] Untuk keperluan pembuatan perisai radiasi gamma dari isotop ini tidak terlalu sulit. Dengan menggunakan pengurangan laju dosis radiasi ini setelah melewati perisai pada jarak 1 meter, dapat dihitung dengan mudah karena prosentase pemancaran adalah 100% (energi tunggal).

Tetapi untuk isotop pemancar radiasi gamma dengan spektrum yang kompleks, maka perlu dilihat prosentase pancaran setiap spektrum energi. Gambar 2 berikut adalah contoh peluruhan radiasi dari isotop ^{60}Co yang merupakan salah satu jenis peluruhan isotop pemancar radiasi gamma dengan energi ganda atau kompleks, yaitu sebesar 1,17 MeV dan



1,33 MeV.^[2]

Gambar 2. Skema peluruhan isotop ^{60}Co

Namun penentuan tebal perisai masih agak mudah dihitung, karena prosentase masing-masing energi ini adalah 100%. Dengan cara yang sama seperti diatas, dapat dihitung tebal perisai yang memenuhi kriteria keselamatan radiasi.

Untuk isotop dengan prosentase pancaran yang berbeda, penghitungan ketebalan perisai dilakukan untuk masing-masing energi, dan dengan cara seperti diatas. Sebagai contoh isotop ^{192}Ir meluruh menjadi ^{192}Pt yang stabil, dengan energi dan prosentase pancaran yang berbeda.^[3]

Tabel 1 merupakan spektrum radiasi gamma dari ^{192}Ir . Energi gamma terdiri dari 13 macam energi radiasi, dan prosentase pancaran berbeda untuk tiap energi.

Tabel 1. Pancaran kuantum gamma dari ^{192}Ir dan prosentasenya^[4]

Energi, MeV	Prosen pancaran n%	Energi, MeV	Prosen pancaran n%
0,885	0,6	0,316	29,5
0,613	2,8	0,308	11,85
0,604	7,1	0,296	10,85
0,588	2,85	0,283	0,6
0,484	1,2	0,206	0,8
0,468	22,7	0,201	0,4
0,416	6,2	0,136	-

Berikut disampaikan cara perhitungan untuk menentukan ketebalan perisai berbagai isotop yang memancarkan radiasi gamma dengan berbagai energi dan pro-sen pancaran yang berbeda.

METODE PERHITUNGAN

Pada perhitungan ini, diasumsikan bahwa unit peralatan ini dioperasikan se-lama 6 jam per hari, dan jarak titik tin-jauan sebesar 6 meter. Contoh perhitungan tebal perisai timbal yang dibutuhkan untuk isotop dengan pancaran 2 macam energi, yaitu ^{60}Co . Prosentase pancaran untuk masing-masing energi adalah 100%.

Perhitungan ini didasarkan pada pengurangan laju dosis pada jarak 1 meter, dimana pada jarak ini laju dosis harus memenuhi Ketentuan Keselamatan Radiasi yang telah ditetapkan oleh BAPETEN, yaitu sebesar 0,05 R/jam. Faktor pengurangan laju dosis dapat dinyatakan dengan persamaan 1. [4]

$$k = D / D_0 \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

- k = faktor pengurangan laju dosis
- D₀ = nilai laju dosis pada jarak 1 meter yang dipersyaratkan
- D = nilai laju dosis terlaik dengan aktivitas sumber

Untuk menghitung D, digunakan persamaan 2.

$$D = (M \times k_\gamma \times t) / R^2 \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- M = aktivitas sumber ekuivalen aktivitas gram radium
- k_γ = konstante gamma untuk sumber yang digunakan
- t = waktu kerja dengan sumber tersebut
- R = jarak tinjauan dalam cm

Untuk menghitung M, perlu diketahui konstante kesebandingan antara sumber yang digunakan dengan sumber isotop radium, seperti persamaan 3.

Konstante kesebandingan =

$$k \text{ sumber} / k \text{ radium} \dots\dots\dots (3)$$

Tabel 2 Konstante gamma spesifik beberapa sumber radiasi yang sering digunakan. [5]

Isotop	k _γ , R/Ci.jam
¹³⁷ Cs	3,3
⁶⁰ Co	13,2
¹⁹² Ir	4,8
¹⁸² Ta	6,8
²² Na	18,4
⁸⁵ Kr	0,04
¹²⁴ Sb	9,8
²²⁶ Ra	8,25

Jadi kalau diketahui besarnya aktivitas sumber, maka nilai ekuivalensi aktivitas sumber ini dapat diekivalenkan dengan aktivitas radium. Dengan menggunakan bantuan grafik M versus tebal perisai, dimana M dalam satuan mgr radium, maka tebal perisai yang diinginkan untuk aktivitas tersebut dapat ditentukan. Berikut disampaikan contoh perhitungan tebal perisai yang diperlukan untuk sumber gamma yang berasal dari ¹³⁷Cs dengan aktivitas sebesar 500mCi. Dalam semua contoh perhitungan ini, lama waktu penggunaan sumber adalah 6 jam dan jarak tinjauan 1 meter.

Konstante gamma untuk sumber ²²⁶Ra dan ¹³⁷Cs, masing-masing sebesar 8,25 R/Ci.jam dan 3,3 R/Ci.jam.

$$\text{Konstante kesebandingan} = 3,3 / 8,25 = 0,4$$

Untuk aktivitas sumber ¹³⁷Cs 500mCi pada jarak titik tinjauan, akan ekuivalen dengan aktivitas sumber radiasi radium dalam gram sebesar :

$$M = 500 \times 0,4 \text{ mgram radium} = 200 \text{ mgram radium}$$

Dengan menggunakan grafik M versus jarak tinjauan seperti pada Gambar 3, akan diperoleh tebal perisai sebesar 2 cm.

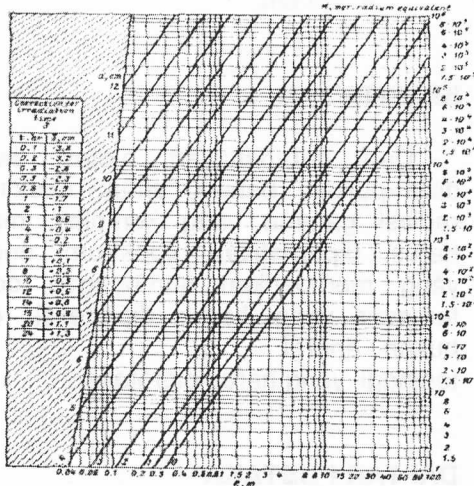
Nilai ini harus ditambah dengan tebal paro untuk energi dan aktivitas sumber yang digunakan, yaitu sebesar 0,6 cm. Jadi tebal perisai timbal yang diperlukan untuk sumber ¹³⁷Cs 500 mCi adalah : 2,8 cm + 0,6 cm = 3,4 cm. Hasil ini dapat diverifikasi dengan menggunakan persamaan 1 dan 2, serta grafik Gambar 4, pengurangan dosis versus tebal dinding.

$$D = 500 \times 3,3 \times 6 / 10^4 = 0,99$$

$$k = 0,99 / 0,05 = 19,8$$

Dengan menggunakan Tabel 2, diperoleh tebal perisai sebesar : 2,95 cm.

Gambar 3. Grafik ekivalensi gram radium versus ketebalan perisai ¹³⁷Cs



Gambar 4. Grafik pengurangan dosis versus ketebalan dinding

Agar fungsi perisai memadai maka tebal ini harus ditambah dengan tebal paro untuk sumber ini yaitu 0,6 cm, sehingga tebal perisai adalah 3,55 nilai ini sedikit berbeda dengan yang diatas. Jika sumber radiasi merupakan spektrum yang kompleks, maka faktor pengurangan dosis harus dikalikan dengan persen pan-carannya, seperti dalam persamaan 4.

$$k_i = (P_i k / 100) \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

- P_i = kontribusi dosis individu, %
- k = faktor pengurangan dosis sumber
- k_i = faktor pengurangan dosis individu

Dengan demikian akan dapat dihitung besar pengaruh setiap spektrum radiasi terhadap dosis yang dihasilkan, serta dapat ditentukan spektrum mana yang harus diproteksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar contoh perhitungan diatas, dapat dihitung tebal dinding perisai untuk radiasi gamma yang berasal dari ⁶⁰Co seperti berikut ini.

Dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa waktu penggunaan isotop selama 6 jam per hari dan aktivitas sumber adalah 500mCi. Prosen pancaran radiasi untuk energi gamma 1,17 MeV dan 1,33 MeV, masing-masing sebesar 100%. Hal ini berarti bahwa kedua energi akan berpengaruh terhadap laju dosis yang dibangkitkan. Dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 serta grafik Gambar 4, akan diperoleh tebal perisai timbal yang diperlukan.

Ekivalen gram radium untuk aktivitas sumber ⁶⁰Co sebesar 500mCi, dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Konstante kesebandingan :} \\ &= 13,2 / 8,25 \\ &= 1,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi ekivalen dalam gram radium} \\ &= 500 \times 1.6 \\ &= 800 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= 800 / 0,05 \\ &= 16.000 \end{aligned}$$

dengan menggunakan grafik pengurangan dosis versus ketebalan dinding untuk sumber ini pada jarak tinjauan 1 meter, diperoleh tebal perisai sekitar = 5,25 cm. Tebal paro timbal untuk sumber ini adalah sebesar : 1,2 cm. Faktor untuk mengeliminasi pengaruh radiasi gamma energi 1,17 MeV dari ⁶⁰Co diperlukan tebal timbal sekitar cm. Sehingga tebal timbal total yang diperlukan untuk perisai radiasi gamma dari ⁶⁰Co 500mCi sebesar : 5,25 cm + 1,2 cm + 0,6 cm = 7,05 cm. [4]

Untuk radiasi gamma dari sumber ¹⁹²Ir, dimana sumber ini mempunyai energi kuantum dan prosen pancaran yang berbeda, maka dua sifat ini harus diperhitungkan semuanya. Pada Tabel 1, hanya lima energi kuantum yang akan diperhitungkan, karena kuantum gamma

ini yang berpengaruh terhadap laju dosis radiasi. Energi kuantum tersebut adalah : 0,885 Mev, 0,613 Mev, 0,604 Mev, 0,468 Mev, dan 0,316 Mev, dengan masing-masing prosentase pemancaran sebesar 0,6%, 2,8%, 7,1%, 22,7%, dan 29,5%. Jika aktivitas ekivalen gram radium dari iridium sebesar 3,0 gram radium, maka tebal shielding yang diperlukan untuk masing-masing energi kuantum dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D &= (M \times k_y \times t) / R^2 \\ &= (3 \times 10^3 \times 8,4 \times 6) / 10^4 \\ &= 15 \text{ r} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= D / D_0 \\ &= 15 / 0,05 \\ &= 300 \end{aligned}$$

k untuk E = 0,885 Mev diperoleh :

$$\begin{aligned} k &= 0,6 \times 300 / 100 \\ &= 1,8 \end{aligned}$$

Dengan menerapkan k = 1,8 pada Tabel 2 lampiran 1 untuk energi kuantum 0,885 Mev, maka perisai timbal yang diperlukan adalah = 1 cm

Sedangkan untuk tebal perisai yang diperlukan untuk energi kuantum 0,613 Mev, 0,604 Mev, 0,468 Mev, dan 0,316 Mev, masing-masing adalah 2,0 cm, 2,75 cm, 2,55 cm, dan 1,7 cm. Terlihat bahwa energi tertinggi memerlukan ketebalan yang lebih kecil dibandingkan dengan energi yang rendah. Tetapi untuk mengeliminasi pengaruh energi kuantum yang lain, diperlukan tambahan tebal sebagai berikut :

1. Dihitung tebal paro bahan perisai yang terbuat dari timbal untuk energi 0,604 MeV. Dari hasil perhitungan diperoleh tebal paro = 0,5 cm.
2. Untuk meneliminasi energi yang lain perlu ditambahkan nilai tebal setengah dari tebal paro, sebesar 0,5 x 0,5 cm = 0,25 cm.

Jadi tebal perisai timbal yang diperlukan untuk radiasi gamma dari isotop ^{192}Ir dengan aktivitas ekivalen dengan 3 gram radium adalah:

$$\begin{aligned} &= 2,75 \text{ cm} + 0,5 \text{ cm} + 0,25 \text{ cm} \\ &= 3,5 \text{ cm.} \quad [4] \end{aligned}$$

KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa untuk spektrum radiasi gamma yang kompleks, maka harus diperhatikan spektrum energi yang memberikan sumbangan dosis terbesar yang harus diproteksi, dan bukan energi tertinggi yang harus diproteksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. KEPUTUSAN KEPALA BAPETEN No. 08/Ka-BAPETEN/V-99. *Tentang Ketentuan Keselamatan Radio-grafi Industri.*
- [2]. A. J. DUIVENSTIJN AND L. A. J. VENVERLOO.1963. *Practical Gamma Spectrometry.* Philips Technical Library, Eindhoven.
- [3]. RICHARD B. FIRESTONE AND VIRGINIA S. SHIRLEY.1996. *Tables of Isotopes.* Volume II, Eighth Edition, John Wiley and Sons. Inc. New York.
- [4]. S. RUMYANTSEV.1967. *Industrial Radiology.* MIR Publisher, Second Printing, Moscow.
- [5]. R. G. JAEGER dkk.1968. *Engineering Compendium on Radiation Shielding Volume I, Shielding Fundamentals and Methods.* Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York.

Lampiran 1.

Tabel 2. Faktor pengurangan dosis terhadap tebal (mm) perisai timbale ^[4]

k	E, MeV											
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,25	1,5
1,5	0,5	1	1,5	2	2	3	4	6	7	8	9,5	11
2	1,0	2	3	4	5	7	8	10	11,5	13	15	17
5	2	4	6	9	11	15	19	22	25	28	34	38
8	2	5	8	11	15	19,5	23,5	28	32	35	42	48
10	3	5,5	9	13	16	21	26	30,5	35	38	45	51
20	3	6	11	15	20	26	32,5	38,5	44	49	58	66
30	3,5	7	11,5	17	23	30	36,5	43	49,5	55	65	73
40	4	8	13	18	24	31	38	45	52	58	68,5	78
50	4	8,5	14	19,5	26	32,5	39,5	46	53	60	72	82
60	4,5	9	14,5	20,5	27	34,5	42	49,5	56	63	75	86
80	4,5	10	15,5	21,5	28	37	45	53	60	67	80	92
100	5	10	16	23	30	38,5	47	55	63	70	84,5	96,5
200	6	12,5	19	26	34	44	53	63	72	80	96,5	111
500	6,5	14	22	31	40	51	61	72	82	92	113	129
1.000	7	15	24	33	44	57	69,5	81	92	102	123	141
2.000	8,5	17	27	38	50	63	76	88	100	111	135	154
5.000	9	19	30	42	55	70	85	99	112	124	149	170
8.000	10	20	31,5	44	57	73,5	90	104	118	130	158	180
10 ⁴	10,5	21	33	45,5	59	75	91	106	120	133	161	183
2x10 ⁴	11	22	35	48,5	63	80	97	113	128	142	172	195
5x10 ⁴	11,5	23,5	37	52	69	87	106	123	140	156	188	214
1x10 ⁵	11,5	24	38	54	72	92	111	130	148	165	201	227