

Faktor Gamma Γ

Usman Kadir^{*}

Abstrak Faktor **Gamma Γ** . Banyaknya foton yang melalui suatu luasan tertentu dalam satu detik disebut fluks. Jika foton tersebut dengan fluks tertentu berinteraksi dengan udara, maka sebagian energi radiasi tersebut akan diserap oleh udara. Besarnya energi yang diserap per satuan massa udara per satuan waktu disebut laju dosis serap. selanjutnya dapat diperoleh besaran laju paparan dari hubungan coulomb dengan joule. Dengan menggunakan faktor konversi dari grey ke sievert, akan diperoleh besaran laju dosis ekuivalen. Dari ke tiga besaran radiasi, yaitu laju paparan, laju dosis serap dan laju dosis ekuivalen, akan muncul suatu nilai konstan yang disebut faktor gamma yang mempunyai satuan yang berbeda dan masing-masing dinamakan konstanta laju paparan, konstanta laju dosis serap dan konstanta laju dosis ekuivalen.

Abstract **Gamma Factor Γ** . The number of foton through a unit area in a second is called flux. When foton with a certain flux pass through a media of air, some of its energy will be absorbed by air. The energy absorbed in a unit of mass of air in a unit of time is named as absorbed dose rates. Using the relationship between coulomb and joule, the absorbed dose rates can be converted to exposure rates. Then by using conversion factor from grey to sievert, it can be obtained equivalent dose rates. From these three rates, one can get a constant which is called gamma factor. Gamma factor has unit that differs for each rates and the name for each rates are respectively exposure rates constant, absorbed dose rates constant, equivalent dose rates.

I. Perhitungan Laju Dosis Serap dan Laju Paparan Radiasi Gamma

Paparan sinar gamma didefinisikan sebagai muatan listrik C yang dihasilkan dalam satuan massa udara (kg). Nama khusus untuk satuan paparan ini adalah roentgen R, yang mempunyai hubungan $1 R = 2.58 \cdot 10^{-4} C/kg$.

Untuk menghitung paparan yang dihasilkan oleh sinar gamma dari sebuah sumber titik, diasumsikan bahwa sebuah sumber sinar gamma dengan aktivitas A dalam satuan MEq, memiliki energi E dalam satuan MeV dibebaskan dengan laju emisi P (emission rate) 100%. Fluks sinar gamma dan fluks energi sinar gamma pada jarak r dalam satuan meter dari sumber dapat

dihitung dengan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut :

$$\phi = 10^6 \cdot A / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \text{ (m}^{-2}\text{.det)} \quad (1)$$

$$E \cdot \phi = 10^6 \cdot E \cdot A / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \text{ (MeV/(m}^{-2}\text{.det))} \quad (2)$$

Sebagai hasil interaksi antara sinar gamma dengan udara, sebagian energi sinar gamma akan diserap oleh udara. Besar energi yang diserap adalah E_s .

$$E_s = 10^6 \cdot E \cdot (J.L/p) \cdot A / (4 \cdot \pi \cdot r^2) \text{ (MeV/(kg.det))} \quad (3)$$

$(J.L/p)$ disebut koefisien serap energi massa (*mass energy absorptio/coefficient*)

^{*} StafPusdiklat Batan

dari udara untuk energi gamma E. Nilai μ_{p} udara bergantung pada energi foton.

Untuk mengubah satuan energi dari MeV ke joule, digunakan hubungan berikut :

$$1 \text{ MeV} = 1,6022 \cdot 10^{13} \text{ J} \quad (4)$$

Persamaan (3) dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_{\text{e}} = 1,6022 \cdot 10^7 \times 3600 \cdot E_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \quad (L/\text{kg}\cdot\text{jam}) \quad (5)$$

Dari persamaan (5) diperoleh H_{e}/D sebagai berikut :

$$D = 45,9 \cdot E_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma^2 \quad (\text{J}\cdot\text{Gy}/\text{jam}) \quad (6)$$

Karena muatan listrik I C adalah 33,85 joule, maka laju paparan radiasi X dapat dihitung dari persamaan (6) sebagai berikut :

$$X = 1,356 \cdot E_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \quad (\text{J}\cdot\text{C}/\text{kg}\cdot\text{jam}) \quad (7)$$

Dengan menulis koefisien serap energi massa udara (μ_{p}) dan memperhitungkan laju emisi P_{e} , maka persamaan laju dosis serap dan laju paparan radiasi dalam bentuk umum dapat dituliskan sebagai berikut :

$$D = 45,9 \cdot E_{\text{e}} \cdot P_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \quad (\sim\text{Gy}/\text{jam}) \quad (8)$$

$$X = 1,356 \cdot E_{\text{e}} \cdot P_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \quad (\text{J}\cdot\text{C}/\text{kg}\cdot\text{jam}) \quad (9)$$

Dosis ekivalen H_{e} digunakan untuk mengevaluasi paparan yang mengenai tubuh manusia. Dosis ini didefinisikan sebagai dosis pada kedalaman 1 cm dari permukaan bola ICRU (dengan diameter 30 cm, ekuivalen dengan tubuh manusia).

II. Faktor konversi

Dosis serap dan paparan dapat diubah ke dosis ekivalen dengan menggunakan faktor

konversi $f_{\text{e}}/H_{\text{e}}$ dan f_{e}/X sebagai fungsi dari energi foton. Tabel faktor konversi tersebut dapat dilihat pada tabel 1. Persamaan (8) dan (9) masing-masing dikalikan $f_{\text{e}}/H_{\text{e}}$ dan f_{e}/X menjadi persamaan laju dosis ekivalen $H_{\text{e}}/H_{\text{e}}$ seperti pada persamaan (10) dan (11), yaitu :

$$H_{\text{e}}/H_{\text{e}} = 45,9 \cdot E_{\text{e}} \cdot P_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \cdot f_{\text{e}}/H_{\text{e}} \quad (\text{J}\cdot\text{Sy}/\text{jam}) \quad (10)$$

$$H_{\text{e}}/X = 1,356 \cdot E_{\text{e}} \cdot P_{\text{e}} (\mu_{\text{p}}) \cdot A \cdot \Gamma \cdot f_{\text{e}}/X \quad (\text{J}\cdot\text{rSw}/\text{jam}) \quad (\text{II})$$

Faktor konversi dari dosis serap udara ke dosis ekivalen adalah $f_{\text{e}}/H_{\text{e}}$ dengan satuan Sv/Gy . Nilai faktor konversi ini diperoleh dari tabel 10 dalam *ICRU Publication 51 volume 17 No.2 3 1987*, yaitu dosis ekivalen pada kedalaman 1 cm sumbu utama dari bola ICRU per satuan dosis serap udara dalam udara bebas untuk foton yang datang dalam sebuah bidang berkas paralel (*plane parallel beams*).

Dengan menggunakan faktor konversi $f_{\text{e}}/H_{\text{e}}$ kita dapat menghitung faktor konversi dari paparan ke dosis ekivalen f_{e}/X baik dalam satuan $\text{Sv}/(\text{C}/\text{kg})$ atau mSv/R , yaitu :

$$a) \quad f_{\text{e}}/H_{\text{e}} = (45,9/1,356) \cdot f_{\text{e}}/H_{\text{e}} \quad (\text{Sv}/(\text{C}/\text{kg})) \quad (12)$$

b) Karena $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C}/\text{kg}$, maka diperoleh f_{e}/X dalam satuan mSv/R , yaitu :

$$f_{\text{e}}/X = (45,9/1,356) \cdot (2,58 \cdot 10^{-4}) \cdot f_{\text{e}}/H_{\text{e}} \quad (\text{mSv}/\text{R}) \quad (13)$$

III. Faktor Gamma Γ

Faktor gamma adalah konstanta yang besarnya dipengaruhi oleh energi foton, laju emisi dan koefisien serap energi massa dari medium. dalam (II) ini adalah udara.

Faktor gamma tidak hanya mempunyai satuan m^2/R Cijam, akan tetapi dapat dikonversi menjadi satuan yang lain. Untuk membedakan satuan yang digunakan maka

konstanta tersebut diberi nama yang berbeda, yaitu :

1. Konstanta laju dosis serap Γ_s ;
2. Konstanta laju paparan Γ atau Γ_R
3. Konstanta laju dosis ekuivalen Γ_{lem}

Secara matematis konstanta atau faktor gamma tersebut dapat dilihat pada persamaan (14), (15), (16) dan (17) dibawah ini.

Konstanta laju dosis serap Γ_s

$$\Gamma_s = 45,9 \cdot L \cdot S_p \cdot P_i (\mu/p)_i \quad (m: J.lGy/MBqjam) \quad (14)$$

Konstanta laju paparan Γ dan Γ_R

$$\Gamma = 1,356 \cdot L \cdot E_p \cdot P_i (-P)I_i \quad (m: ~IC/kg.MBqjam) \quad (15)$$

Karena $1 \text{ MBq} = 2,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ci}$, $1 \text{ C/kg} = 3875,969 \text{ Roentgen}$, maka konstanta laju paparan Γ_R adalah :

$$\Gamma_R = (1,356 \times 3875,969)/2,7 \cdot iO^1 \cdot \sim t_p \cdot P_i (\mu/p)_i \quad (m: R / Cijam) \quad (16)$$

Konstanta laju dosis ekuivalen Γ_{lem}

Dengan menggunakan faktor konversi grey ke Sievert (Γ_{lem} (lihat tabel D), maka konstanta laju dosis ekuivalen Γ_{lem} adalah :

$$\Gamma_{lem} = r_s \cdot f_{lem} = 45,9 \cdot L \cdot E_p \cdot P_i (\mu/p)_i \cdot (f_{lem})^1 \quad (m: J.lSy/MBq.jam) \quad (17)$$

Contoh menghitung konstanta gamma:

Sumber Co-60 mempunyai dua "peak" energi, pertama energi 1,173 MeV dengan laju emisi 100% dan ke dua energi 1,333 MeV dengan laju emisi 100%. Konstanta gamma laju paparan dapat ditentukan dengan cara interpolasi data dalam tabel 2 yaitu antara energi 1 dan 1,5 MeV atau menggunakan grafik energi versus koefisien serap energi massa udara (lihat lampiran) diperoleh :

$(-P)I_i$ udara pada energi **UN** MeV adalah 0.00273 m^2/kg dan $(-P)I_i$ udara pada energi 1,333 MeV adalah 0.006671 m^2/kg .

Dengan cara yang sama untuk faktor konversi diperoleh: (Γ_{lem})¹ untuk energi 1,173 MeV adalah 1,173 Sv /Gy, (Γ_{lem})¹ untuk energi 1,333 MeV adalah 1,133 Sv/Gy.

Konstanta laju dosis serap :

$$r_s = 0,306 \quad (m: ~lGy/MBqjam)$$

konstanta laju paparan :

$$\Gamma = 0,1095 \quad (m: ~IC/kg.MBqjam)$$

$$\Gamma_R = 1,298 \quad (m: R / Cijam)$$

Konstanta laju dosis ekuivalen :

$$\Gamma_{lem} = 0,347 \quad (m^2 \cdot \mu Sv/MBq.jam)$$

IV. Aplikasi Faktor Gamma

Faktor gamma sangat bermanfaat untuk menghitung atau memperkirakan laju paparan, laju dosis serap dan laju dosis ekuivalen pada jarak tertentu dari sebuah sumber radiasi yang diketahui aktivitasnya.

Sebagai contoh, jika diketahui Co-GO dengan aktivitas 1 Mbq. Laju dosis serap, laju paparan dan laju dosis ekuivalen pada jarak 1 meter dapat ditentukan sebagai berikut:

Laju dosis serap

$$D = \Gamma_s \cdot A/r^2 = 0,306 \quad (J.lGy/jam)$$

laju paparan

$$X = \Gamma \cdot A/r^2 = 0,0095 \quad (\mu C/kg.jam)$$

atau

$$X = 2,7 \cdot 10^{-5} \cdot \Gamma_R \cdot A/r^2$$

$$= 1.7 (Y' \cdot 1,298 \text{ (R 1jam)})$$

dengan $1 \text{ Mbq} = 2.7 \cdot 10^{-5} \text{ Ci}$

dan laju dosis ekuivalen :

$$\begin{aligned} H_{\text{lem}} &= 110 \text{m} \cdot \text{Air} \\ &= 10 \cdot 17 \text{ (j.l.SV/jam)} \end{aligned}$$

Aplikasi lain faktor gamma adalah untuk mengkalibrasi alat proteksi radiasi, seperti survaimeter atau dosimeter saku, dengan menggunakan sumber radiasi standar yang telah diketahui aktivitasnya. Survaimeter harus dikalibrasi skala pembacaannya dengan cara membandingkan nilai laju dosis serap, laju paparan atau laju dosis ekuivalen secara perhitungan dengan nilai hasil pembacaan pada Survaimeter.

Secara matematis :

faktor kalibrasi F , = nilai perhitungan
Nilai pembacaan

Nilai perhitungan diperoleh dengan menggunakan persamaan (1-1), (15), (16) atau (17) yang sesuai dengan besaran yang ditunjukkan skala survaimeter. Cara yang sama dapat diterapkan untuk mengkalibrasi dosimeter saku.

Kesimpulan :

Faktor gamma, yaitu konstanta laju paparan, konstanta laju dosis serap dan laju dosis ekuivalen adalah menjadi sangat penting untuk diketahui dan diperoleh nilainya seakurat mungkin agar perhitungan laju paparan, laju dosis serap dan laju dosis ekuivalen pada jarak tertentu dari sumber radiasi gamma menjadi relatif lebih tepat.

Referensi :

1. Data for Use in Protection Against External Radiation. Annals of the ICRP, volume 17 No. 213 1987

2. Japan Radioisotope Association handbook, 1989
3. T. Tanaka. Radiation Monitoring, E2 Practical guide. JAERI

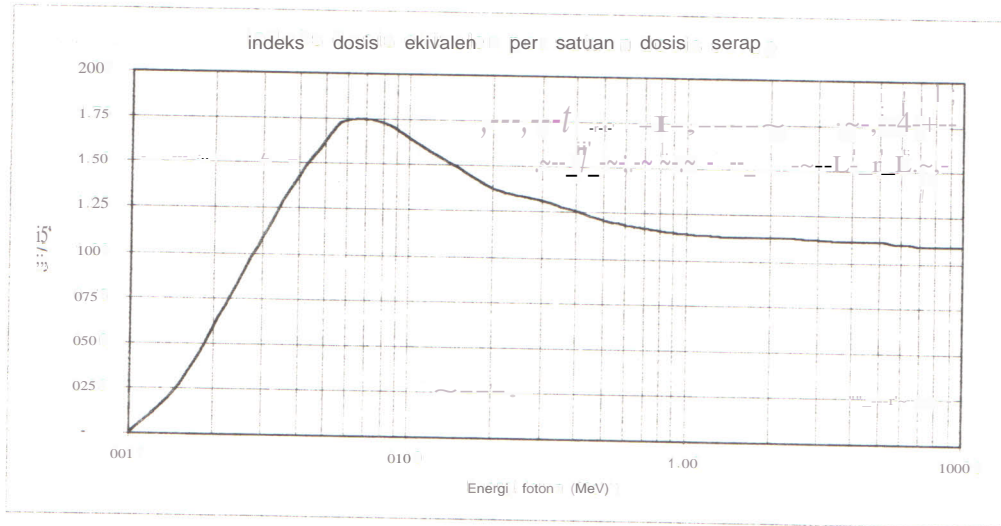
Tabel I, Faktor konversi dari dosis scrap dan paparan ke dosis ekivalen

Energi foto E (MeV)	Dosis scrap ud. ke dosis ekivalen C_{scrap} (Sv/Gy)	Paparan ke dosis ekivalen	
		C_{scrap} Sv/(C/kg)	f_{cm} mSv/R
0.010	0.010	0.3~	0.087
0.015	0.271	9.17	2.37
0.020	0.601	20.3	5.25
0.030	1.09	36.8	9.50
0.040	1.43	~8.5	12.5
0.050	1.63	55.1	1~2
(U)60	1.7~	59.1	15.2
0.080	1.73	58.7	15.1
0.10	1.65	55.7	I~A
0.15	1.49	50.3	13.0
0.20	1.38	~6.7	12.0
0.30	1.31	HA	11.5
0.40	1.26	~2.6	11.0
0.50	1.21	~1.2	10.6
0.60	1.19	~0.3	10.4
(1.80)	1.16	39.3	10.1
1.0	U~	38.7	10.1
1.5	1.13	38.1	9.88
2.0	1.13	38.3	9.87
3.0	1.12	38.1	9.82
~0	1.11	37.7	9.71
5.0	1.11	37.5	9.67
6.0	1.10	37.3	9.62
8.0	1.09	36.8	9.50
10.0	1.09	36.8	9.50

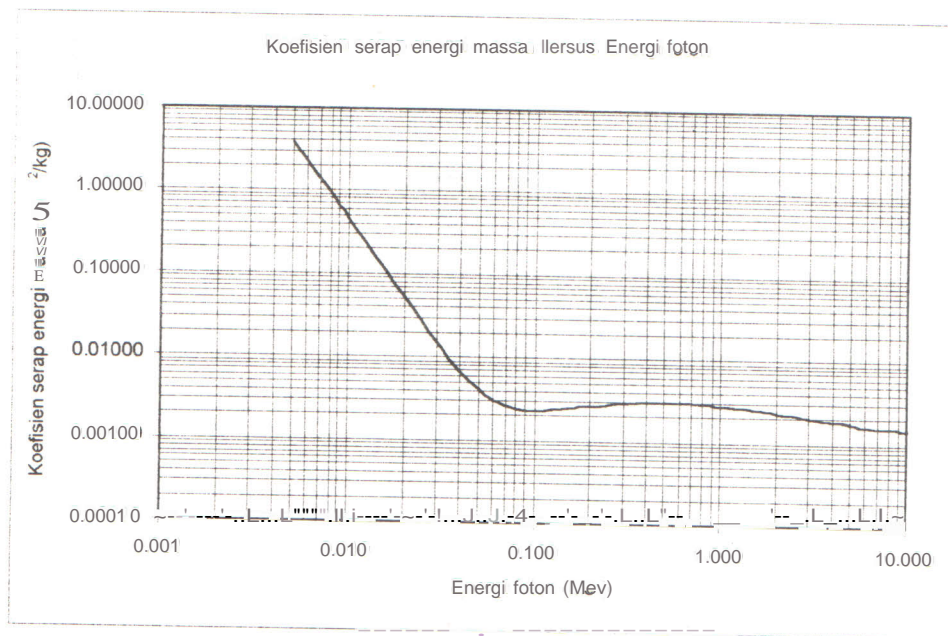
Tabel 2. Koefisien serap energi massa udara.
Presentasi grafis koefisien serap energi massa ud
sebagai fungsi enrgi dapat dilihat pada lampira

Energi (MeV)	Koefisien serap energi mas sa (μ/p) udara (m^2/kg)
0.005	3.896000
0.006	2.242000
0.008	0.924600
0.010	0.464000
0.015	0.130000
0.020	0.052550
0.030	0.015010
0.040	0.006694
0.050	0.004031
0.060	0.003004
0.080	0.002393
0.100	0.002318
0.150	0.002494
0.200	0.002672
0.300	0.002872
0.400	0.002949
0.500	0.002966
0.600	0.002953
0.800	0.002882
1.000	0.002787
1.500	0.002545
2.000	0.002342
3.000	0.002054
4.000	0.001866
5.000	0.001737
6.000	0.001644
8.000	0.001521
10.00	0.001466

J.H. Hubbell: *Int. J. Appl. Radiat. Tsot.* 33,1269-1290(1982)



Gambar 1 Indeks dosis ekivalen per satuan dosis serap



Gambar 2 Koefisien serap energi versus energi