

Perhitungan Waktu untuk Penyinaran Tumor dengan Pesawat Teleterapi Cobalt-60

Susetyo Trijoko

PSPKR BATAN, Pasar Jumat, Jakarta

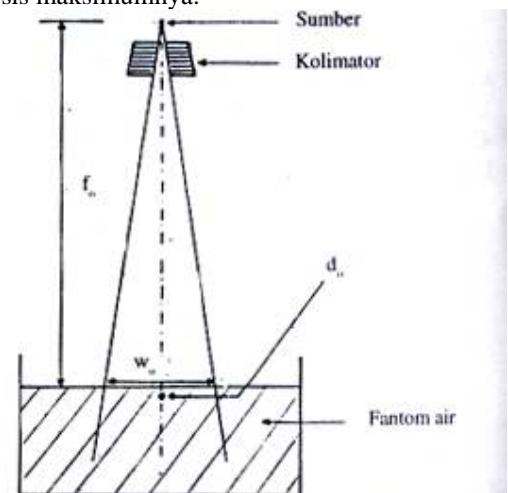
PENDAHULUAN

Pada saat ini terdapat 17 rumah sakit negeri dan swasta yang tersebar di kota-kota besar di seluruh Indonesia telah memiliki pesawat teleterapi Cobalt-60 untuk tujuan terapi kanker. Pada dasarnya, inti pesawat teleterapi Cobalt-60 adalah satu sumber radioisotop Co-60 yang memancarkan sinar gamma berenergi rata-rata 1250 MeV. Sinar gamma dan Co-60 tersebut mempunyai daya tembus sangat tinggi, sehingga mampu menembus jaringan/organ yang berada di dalam tubuh sekalipun. Telah diketahui pula bahwa sel kanker bersifat lebih sensitif terhadap sinar gamma daripada sel normal. Karena daya tembusnya yang begitu besar dan bisa mematikan sel kanker, maka sinar gamma bisa dimanfaatkan untuk membunuh sel-sel kanker yang berada di dalam tubuh tanpa harus melalui operasi/pembedahan. Inilah salah satu keuntungan penggunaan pesawat teleterapi Cobalt-60, yaitu pengobatan/terapi kanker dan luar tubuh tanpa pembedahan pasien.

Dalam proses penyinaran (*treatment*) tumor dengan radiasi gamma harus selalu diupayakan agar sel-sel kanker mendapatkan dosis radiasi sesuai dengan yang dikehendaki oleh dokter ahli radioterapi (*radiotherapist*). Untuk mencapai maksud tersebut maka penentuan letak/posisi tumor dan laju dosis radiasi yang keluar dari pesawat adalah sangat penting dan mutlak diperlukan. Informasi yang berkaitan dengan posisi tumor, seperti kedalaman dan luas permukaan tumor, sangat diperlukan guna pemilihan metoda dan parameter-parameter penyinaran. Sedangkan laju dosis keluaran pesawat diperlukan untuk inenentukan waktu penyinaran, sehingga tercapai dosis seperti yang dikehendaki. Makatah ini akan menjelaskan dan memberikan contoh praktis bagaimana cara menghitung waktu penyinaran tumor dengan pesawat teteterapi Cobalt-60 yang dengan mudah bisa diikuti oleh para fisikawan medik di bagian unit radioterapi.

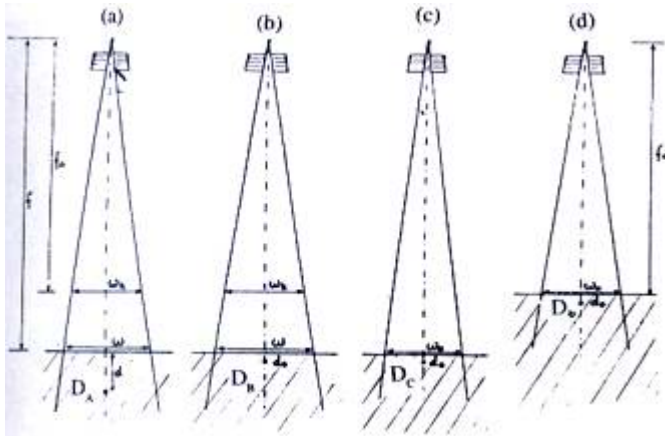
METODA PERHITUNGAN

Menurut peraturan yang berlaku laju dosis setiap pesawat teleterapi wajib dikalibrasi oleh Fasititas Kalibrasi Tingkat Nasional (FKTN), PSPKR BATAN, sekurang-kurangnya sekali dalam 2 (dua) tahun. Pelaksanaan kalibrasi FKTN selalu menggunakan peralatan dan mengacu pada prosedur yang dikeluarkan oleh Badan Tenaga Atom Intemasional (IAEA)⁽²⁾. Setelah melaksanakan kalibrasi, FKTN akan menerbitkan sertifikat keluaran sumber radiasi pesawat yang menyatakan besarnya laju dosis acuan. Laju dosis acuan pesawat teleterapi Cobalt-60 ditetapkan pada kedalaman (d_0) 0.5 cm air untuk lapangan penyinaran (FS) 10cm x 10cm dan jarak sumber-permukaan tubuh (SSD) 80cm. Kedalaman dosis acuan ini biasanya selalu diambil berdasarkan kedalaman dosis maksimumnya.



Gambar 1. Penentuan laju dosis acuan pesawat cobalt-60, $d_0 = 0.5$ cm, $w_s = 10$ cm, $f_s = 80$ cm.

Pada kenyataannya tumor bisa terjadi di mana saja dalam tubuh dengan berbagai ukuran. Dalam hal ini misalkan saja suatu tumor terletak di kedalaman d cm, harus disinari dengan luas lapangan radiasi $w \times w$ dan jarak sumber-permukaan tubuh f cm. Kondisi penyinaran seperti yang diminta dalam contoh tersebut dapat dihubungkan dengan kondisi kalibrasi laju dosis acuan. Untuk itu perhatikan rangkaian pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Ilustrasi hubungan antara kondisi penyinaran secara umum dengan kondisi pada seat kalibrasi

Kondisi penyinaran yang diminta diperlihatkan dengan **Gambar 2a**, sedangkan kondisi penentuan laju dosis acuan ditunjukkan pada **Gambar 2d** yang identik dengan **Gambar 1**. Besar dosis yang diminta pada tumor disebut D_A dan dosis acuan diberi notasi D . Karena jarak sumber-permukaan tubuh (SSD)

untuk penyinaran tumor berbeda dengan SSD saat kalibrasi, maka pertama kali harus ditentukan besarnya luas lapangan penyinaran (FS) pada jarak SSD kalibrasi. Untuk SSD penyinaran = f ; FS penyinaran = w dan SSD kalibrasi = f_0 maka

$$W_k = (f_0/f) \times w \tag{1}$$

W_k adalah FS penyinaran pada jarak SSD kalibrasi.

Dari **Gambar 2a dan 2b**, hubungan antara dosis di titik A (D_A) dengan dosis di titik B (D_B) hanya tergantung pada kedalaman, sehingga dapat dirumuskan⁽³⁾

$$(D_A/D_B) = PDD(d, w, f)$$

PDD (d, w, f) adalah prosentase dosis kedalaman untuk kedalaman d , pada lapangan penyinaran $w \times w$ dari jarak sumber-permukaan tubuh (SSD) = f .

Nilai PDD pesawat teleterapi cobalt-60 untuk jarak sumber-permukaan (SSD) 60 cm, 80 cm dan 100 cm diambil dan BJR Suppl No. 17⁽³⁾ dan berturut-turut ditampilkan pada **Tabel 1, 2 dan 3**. Perbandingan nilai PDD menurut BJR⁽³⁾ dengan literatur lain⁽⁴⁾ terdapat deviasi maksimum 21.5%.

Kemudian dari **Gambar 2b** dengan **2c**, dosis di titik B (D_B) dan dosis di titik C (D_C) sama-sama berada di kedalaman dosis maksimum (kedalaman acuan = d_0) namun luas lapangan penyinarannya berbeda. Dengan demikian perbedaan antara D_B dan D_C hanya tergantung pada kontribusi hamburan kolimator dan hamburan fantom (tubuh)⁽⁵⁾. dan dituliskan,

$$(D_B/D_C) = S_k(w_k) \times S_p(w)$$

$S_k(w_k)$ adalah faktor kontribusi hamburan kolimator untuk luas kolimator $w_k \times w_k$ pada jarak f_0 dan $S_p(w)$ adalah faktor kontribusi hamburan fantom untuk luas lapangan penyinaran $w \times w$.

Faktor-faktor kontribusi hamburan tersebut dinormalisasi-

Tabel 1. Nilai Prosentase dosis kedalaman (PDD), untuk Jarak permukaan-sumber (SSD) 60 cm⁽³⁾

Kedalaman (cm)	Luas lapangan penyinaran (cm x cm)										
	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	12x12	15x15	20x20	25x25	30x30
0.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	97.0	97.3	97.5	97.7	97.7	97.8	97.8	97.9	97.9	98.0	98.1
2	91.0	91.5	91.9	92.2	92.4	92.6	92.8	93.0	93.2	93.4	93.6
3	84.7	85.4	86.0	86.3	86.6	87.0	87.3	87.7	88.2	88.5	88.8
4	78.6	79.4	80.1	80.6	81.0	81.5	82.1	82.6	83.3	83.7	84.0
5	72.7	73.7	74.6	75.2	75.7	76.2	76.9	77.7	78.6	79.0	79.4
6	67.0	68.1	69.1	69.8	70.5	71.1	71.9	72.9	73.8	74.5	74.9
7	61.8	63.0	64.0	64.8	65.5	66.2	67.2	68.2	69.3	69.9	70.5
8	56.9	58.1	59.2	60.0	60.7	61.4	62.5	63.7	65.0	65.9	66.4
9	52.4	53.6	54.7	55.6	56.4	57.1	58.2	59.5	60.9	61.8	62.5
10	48.1	49.3	50.5	51.5	52.2	53.0	54.2	55.5	57.0	58.0	58.7
11	44.3	45.4	46.4	47.3	48.2	49.0	50.3	51.6	53.3	54.3	55.1
12	40.7	41.8	42.9	43.9	44.7	45.5	46.8	48.2	49.8	50.9	51.7
13	37.3	38.5	39.6	40.5	41.4	42.2	43.4	44.9	46.6	47.8	48.6
14	34.3	35.6	36.5	37.4	38.2	39.0	40.3	41.8	43.6	44.7	45.6
15	31.6	32.6	33.6	34.5	35.3	36.1	37.4	38.9	40.7	41.9	42.8
16	29.1	30.0	31.0	31.9	32.7	33.5	34.8	36.3	38.1	39.2	40.2
17	26.7	27.7	28.7	29.5	30.3	31.0	32.3	33.7	35.5	36.7	37.6
18	24.6	25.6	26.5	27.3	28.0	28.7	29.9	31.4	33.1	34.3	35.2
19	22.6	23.5	24.4	25.2	25.9	26.6	27.8	29.2	30.9	32.1	33.1
20	20.8	21.6	22.4	23.2	23.9	24.6	25.7	27.2	28.8	30.0	31.0
22	17.7	18.4	19.2	19.9	20.5	21.2	22.2	23.6	25.2	26.4	27.3
24	15.0	15.7	16.4	17.0	17.6	18.2	19.2	20.5	22.0	23.2	24.0
26	12.7	13.4	14.0	14.6	15.1	15.7	16.6	17.8	19.2	20.3	21.1
28	10.8	11.4	12.1	12.5	13.0	13.5	14.4	15.5	16.9	17.9	18.6
30	9.3	9.7	10.2	10.7	11.2	11.7	12.4	13.4	14.8	15.7	16.3

Tabel 2. Nilai Prosentase dosis kedalaman (POD), untuk Jarak permukaan-sumber (SSD) 80 cm⁽³⁾

Kedalaman (cm)	Luas lapangan penyinaran (cm x cm)										
	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	12x12	15x15	20x20	25x25	30x30
0.5	100.0	1000	100.0	1000	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	97.1	97.7	97.8	97.9	98.0	98.1	98.2	98.3	98.3	98.4	98.5
2	92.	92.6	93.0	93.2	93.4	93.7	93.9	94.1	94.3	94.5	94.7
3	86.3	87.0	87.6	88.0	88.4	88.7	89.1	89.5	90.1	90.3	90.5
4	80.7	81.6	82.3	82.8	83.2	83.7	84.3	84.9	85.6	86.0	86.3
5	75.2	76.2	77.1	77.8	78.3	78.8	79.5	80.3	81.3	81.7	82.1
6	69.7	70.8	71.9	72.6	73.3	73.9	74.9	75.9	76.9	77.5	78.1
7	64.7	66.0	67.0	67.9	68.6	69.3	70.3	71.5	72.6	73.3	73.9
8	59.9	61.2	62.3	63.2	64.0	64.7	65.8	67.1	68.6	69.5	70.1
9	55.5	56.8	57.9	58.8	59.7	60.5	61.7	63.0	64.6	65.6	66.3
10	51.2	52.5	53.8	54.8	55.7	56.4	57.7	59.2	60.8	61.9	63.6
11	47.4	48.7	49.8	50.7	51.6	52.5	53.8	55.3	57.2	58.3	59.1
12	43.8	45.0	46.2	47.2	48.1	48.9	50.3	51.9	53.7	55.0	55.8
13	40.4	41.6	42.8	43.8	44.7	45.6	47.0	48.6	50.5	51.8	52.8
14	37.3	38.7	39.7	40.7	41.6	42.4	43.7	45.4	47.4	48.7	49.8
15	34.5	35.7	36.7	37.6	38.5	39.4	40.8	42.5	44.5	45.9	46.9
16	31.9	33.0	34.0	35.0	35.9	36.8	38.1	39.7	41.8	43.2	44.2
17	29.5	30.5	31.5	32.5	33.3	34.1	35.5	37.1	39.2	40.5	41.6
18	27.3	28.3	29.3	30.2	30.9	31.7	33.1	34.7	36.7	38.1	39.2
19	25.1	26.1	27.1	28.0	28.8	29.5	30.8	32.4	34.4	35.8	36.9
20	23.2	24.1	25.0	25.8	26.6	27.4	28.7	30.2	32.2	33.5	34.7
22	19.9	20.7	21.5	22.3	23.0	23.7	25.0	26.5	28.4	29.8	30.8
24	17.0	17.7	18.5	19.2	19.9	20.5	21.7	23.1	24.9	26.2	27.3
26	14.5	15.2	15.9	16.6	17.2	17.8	18.9	20.2	21.9	23.2	24.2
28	12.5	13.1	13.8	14.4	14.9	15.4	16.4	17.7	19.3	20.6	21.5
30	10.7	11.2	11.8	12.3	12.8	13.3	14.2	15.4	17.0	18.2	19.0

Tabel 3. Nilai Prosentase dosis kedalaman (POD), untuk Jarak permukaan-sumber (SSD) 100 cm⁽³⁾

Kedalaman (cm)	Luas lapangan penyinaran (cm x cm)										
	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	12x12	15x15	20x20	25x25	30x30
0.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1	97.7	98.0	98.2	98.3	98.4	98.5	98.5	98.6	98.6	98.7	98.7
2	92.8	93.2	93.6	93.8	94.0	94.1	94.5	94.8	95.0	95.2	95.4
3	87.3	88.1	88.6	89.0	89.3	88.7	90.1	90.5	91.1	91.4	91.6
4	82.0	82.9	83.6	84.1	84.5	85.0	85.7	86.3	87.0	87.4	87.7
5	76.7	77.7	78.6	79.3	79.8	80.4	81.1	82.0	83.0	83.4	83.9
6	71.4	72.6	73.6	74.4	75.1	75.8	76.7	77.8	78.8	79.5	80.0
7	66.6	67.8	68.9	69.8	70.5	71.2	72.3	73.5	74.7	75.5	76.1
8	61.9	63.1	64.3	65.2	66.0	66.8	68.0	69.3	70.8	71.8	72.5
9	57.5	58.8	60.0	61.0	61.9	62.7	64.0	65.3	67.0	68.0	68.8
10	53.3	54.6	55.9	57.0	57.9	58.7	60.0	61.6	63.3	64.4	65.2
11	49.4	50.8	52.0	52.9	53.9	54.8	56.2	57.8	59.7	60.9	61.8
12	45.9	47.1	48.3	49.4	50.4	51.2	52.7	54.3	56.3	57.6	58.6
13	42.5	43.7	44.9	46.0	47.0	47.9	49.3	51.0	53.1	54.5	55.6
14	39.4	40.7	41.9	42.8	43.7	44.6	46.1	47.8	50.0	51.4	52.5
15	36.5	37.7	38.8	39.7	40.7	41.6	43.1	44.9	47.1	48.6	49.7
16	33.9	35.0	36.0	37.1	38.0	38.9	40.4	42.1	44.3	45.8	47.0
17	31.4	32.5	33.5	34.5	35.4	36.2	37.7	39.4	41.6	43.2	44.4
18	29.1	30.2	31.3	32.1	33.0	33.8	35.2	37.0	39.2	40.7	41.9
19	26.9	27.9	28.9	29.9	30.7	31.5	32.9	34.6	36.8	38.4	39.6
20	24.9	25.9	26.8	27.6	28.5	29.3	30.7	32.4	34.5	36.0	37.3
22	21.5	22.3	23.2	24.0	24.7	25.5	26.9	28.4	30.6	32.1	33.3
24	18.4	19.2	20.0	20.7	21.4	22.2	23.4	24.9	27.0	28.4	29.7
26	15.8	16.5	17.3	18.0	18.6	19.3	20.5	21.9	23.8	25.2	26.4
28	13.6	14.3	15.0	15.7	16.2	16.8	17.8	19.3	21.1	22.5	23.6
30	11.8	12.3	12.9	13.5	14.0	14.6	15.6	16.9	18.6	19.9	20.9

kan ke luas lapangan 10 cm x 10 cm. Nilai-nilai S_k dan S_p untuk pesawat teleterapi cobalt-60 diperlihatkan dalam **Tabel 4**. Nilai S_k diambil dan Khan et al⁽⁵⁾, sedangkan nilai S_p dihitung dan nilai faktor hamburan maksimum (PSF)⁽³⁾ yang dinormalisasikan ke

luas lapangan penyinaran 10cm x 10cm. Perbandingan nilai S_k (**Tabel 4**) terhadap literatur lain⁽⁶⁾ terdapat perbedaan maksimum tidak lebih dari 1.0%. Dan perbandingan nilai S_p (**Tabel 4**) terhadap literatur lain⁽⁷⁾ juga terdapat deviasi maksimum 1.0%.

Tabel 4. Faktor koreksi hamburan kolimator (S_k) dan hamburan fantom (S_p)

Luas Lapangan Penyinaran (cm x cm)	Faktor koreksi (S_k) ⁽⁴⁾	Faktor koreksi (S_p) ⁽³⁾
5 x 5	0.957	0.984
6 x 6	0.968	0.987
7 x 7	0.977	0.990
8 x 8	0.989	0.994
9 x 9	0.995	0.997
10 x 10	1.000	1.000
11 x 11	1.008	1.003
12 x 12	1.015	1.006
13 x 13	1.021	1.009
14 x 14	1.026	1.011
15 x 15	1.032	1.014
18 x 18	1.043	1.019
20 x 20	1.051	1.023
25 x 25	1.059	1.030
30 x 30	1.059	1.034

Selanjutnya dari **Gambar 2c dan 2d**, perbedaannya hanya terletak pada janak sumber-permukaan (SSD). Dengan demikian hubungan keduanya menuruti hukum kuadrat jarak dan bisa dinyatakan sebagai berikut,

$$(D_o/D_o) = [(f_o + d_o) / (f + d_o)]^2 \quad (4)$$

Penggabungan persamaan (2), (3), (4)

dengan $S_f = [(f_o + d_o) / (f + d_o)]^2$ akan diperoleh,

$$D_A = D_o \times S_f \times S_k (w_k) \times S_p (w) \times PDD (d, w, f) \quad (5)$$

Dari persamaan (5) di atas jikalau dosis tumor yang diminta di titik A dinyatakan dengan DT dan laju dosis acuan dinyatakan dengan D_o (cGy/menit), maka waktu penyinaran (T) dapat dihitung dengan perumusan berikut;

$$T = \frac{DT}{D_A = D_o \times S_f \times S_k (w_k) \times S_p (w) \times PDD (d, w, f)} \quad (6)$$

Telah diketahui bahwa kalibrasi laju dosis acuan menggunakan alat ukur radiasi yang ada di pasaran dan prosedur yang diberikan oleh IAEA⁽²⁾ akan memiliki tingkat ketelitian 2.5%. Perhitungan nilai S_f diasumsikan memiliki tingkat ketelitian 0,5%⁽⁸⁾ dan penunjukan waktu dan pesawat teleterapi Cobalt-60 umumnya memiliki kesalahan tidak lebih dari 0,5%⁽²⁾.

APLIKASI PRAKTIS

Misal satu pesawat teleterapi Cobalt-60 milik suatu rumah sakit telah dikalibrasi oleh FKTN dan diberikan sertifikat laju dosis acuan sebesar 120 cGy/menit. (Ingat, laju dosis acuan yang diberikan adalah untuk $d_o = 0.5$ cm, $w_o = 10$ cm, dan $f_o = 80$ cm). Pesawat tersebut akan digunakan untuk menyinari tumor dengan dosis 2100 cGy yang terletak di kedalaman 10cm dengan menggunakan luas lapangan radiasi 20 cm x 20 cm dan jarak sumber-permukaan tubuh 100 cm Selanjutnya harus dihitung waktu (lama) penyinarannya

Langkah-langkah yang dilakukan,

- (1) $w_k = (80/100) \times 20$
= 16cm
- (2) $S_f = \{ (80 + 0.5) / (100 + 0.5) \}^2$
= 0.6416

- (3) Dari Tabel 4 diperoleh,
 $S_k (16) = 1.035$ (intepolasi) dan
 $S_p(20) = 1.023$

- (4) Dari Tabel 3 diperoleh,
 $PDD (10, 20, 100) = 63.3\%$

- (5) Waktu penyinaran,

$$T = \frac{200}{120 \times 0.6416 \times 1.035 \times 1.023 \times 63.3\%} \text{ menit}$$

$$= 3.876 \text{ menit}$$

Dalam perhitungan ini harus selalu diingat bahwa laju dosis acuan yang digunakan adalah laju dosis acuan pada saat penyinaran. Laju dosis acuan berkurang sekitar 1.1% per bulan karena radioisotop Co-60 meluruh dengan waktu paruh ($T_{1/2}$) = 5.27 tahun⁽⁹⁾. Penggabungan semua tingkat ketelitian/kesalahan dari setiap parameter yang diambil untuk perhitungan dengan menggunakan persamaan (6) di atas akan memberikan kesalahan maksimum 3.9%. Tingkat kesalahan ini masih lebih kecil dari tingkat kesalahan maksimum yang diperbolehkan oleh IAEA⁽²⁾ yang besarnya 5%.

KESIMPULAN

Secara ringkas telah dijelaskan cara menghitung waktu penyinaran tumor dengan pesawat teleterapi Cobalt-60 yang telah dikalibrasi oleh FKTN, PSPKR BATAN. Untuk penyinaran tumor dengan teknik jarak sumber-permukaan (SSD) seperti yang diuraikan dalam tulisan ini, thaka para fisikawan medik yang mengendalikan penggunaan pesawat Cobalt-60 yang tersebar di seluruh Indonesia dapat menerapkan dan mengikuti cara perhitungan ini dengan tingkat kesalahan masih dalam batas yang diijinkan.

KEPUSTAKAAN

1. Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN). Peraturan tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, Standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi, Jakarta, 1992.
2. International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed dose determination in photon and electron beams, An International Code of Practice, Techn Rep Ser No. 277, Vienna, 1987.
3. The British Institute of Radiology. Central axis depth dose data for use in radiotherapy, Br J Radiol Suppl No. 17, 1983.
4. Leung PMK. The Physical Basis of Radiotherapy, The Ontario Cancer Institute and The Princess Margaret Hospital, Ontario, 1978.
5. Khan FM, Sewchand W, Lee J, Williamson JF. Revision of tissue-maximum ratio and scatter-maximum ratio concepts for cobalt-60 and higher energy x-ray beams, Med. Phys. 1980; 7(3).
6. HiswaraE. Penentuan Karakter Pesawat Teleterapi Co-60, Maj BATAN 1985; XVIII(4).
7. Spicka J, Heffon D, Orton C. Separating output factor into collimator factor and phantom scatter factor for megavoltage photon calculations, Medical Dosimetry 1988; 13(1).
8. Holt JG, Laughlin JS, Moroney JP. The extension of the concept of tissue-air- ratio (TAR) to high-energy X-ray beams, Radiology 1970; 96.
9. General Electric, Chart of the nuclides, Thirteenth ed, California, 1983.