

DOSIMETRI RADIOTERAPI UNTUK BERKAS FOTON ASIMETRIK

Susetyo Trijoko

Pusat Standarisasi Penelitian Keselamatan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

DOSIMETRI RADIOTERAPI UNTUK BERKAS FOTON ASIMETRIK. Telah dilakukan penelitian dosimetri radioterapi dengan menggunakan berkas foton asimetrik berenergi 6-MV yang berasal dari pesawat akselerator linier (linac) Philips SL-25 di Westmead Hospital, Sydney. Beberapa parameter dosimetri, seperti faktor keluaran (OF), nisbah tertinggi-jaringan (TMR), nisbah sentra-jauh (OCR), dan nisbah sentra-jauh utama (POCR), diukur di dalam fantom-air pada berbagai kedalaman dan luas lapangan (FS) radiasi. Kemudian profil dosis untuk lapangan radiasi asimetrik dihitung dengan menggunakan parameter-parameter tersebut. Distribusi dosis untuk berkas radiasi asimetrik yang sama, juga diukur dengan menggunakan detektor bilik pengionan 0,6 cc di dalam fantom-air. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan antara dosis terukur dan dosis perhitungan mencapai 3% pada jarak 14 cm dari sumbu pusat, tetapi untuk titik-titik di dekat sumbu pusat perbedaannya di bawah 1%.

ABSTRACT

RADIOTHERAPEUTICAL DOSIMETRY FOR ASYMMETRIC PHOTON BEAMS. Research on radiotherapeutical dosimetry of asymmetric photon beam having energy of 6-MV produced by linear accelerator (linac) machine Philips SL-25 was carried out in Westmead Hospital, Sydney. Several dosimetric parameters, such as output factor (OF), tissue-maximum ratio (TMR), off-centre ratio (OCR), and primary off-centre ratio (POCR) were measured in a water-phantom at various depths and radiation field sizes (FS). Then dose profiles of asymmetric radiation field were calculated by applying those parameters. Dose distributions of the same chamber detector of 0.6 cc in the water-phantom. Experiment results showed that the difference between the measured dose and calculated dose reached 3% at a distance of 14 cm away from central axis, but at point close to the central axis the differences were below 1%.

PENDAHULUAN

Pesawat akselerator linier (linac) medik model Philips SL-25 yang digunakan dalam penelitian ini memiliki keunikan pada sistem kolimasi radiasinya, yang terdiri atas 4 rahang (jaw) yang masing-masing dapat digerakkan secara bebas. Dengan 4 rahang bebas tersebut, berkas radiasinya dapat berbentuk lapangan radiasi simetrik maupun asimetrik.

Penggunaan berkas foton asimetrik untuk menyinari kanker merupakan satu subyek yang relatif baru dalam dosimetri radioterapi. Kombinasi tiga arah penyinaran (three-field technique) dengan menggunakan berkas foton asimetrik terbukti sangat efektif untuk terapi kanker payudara [1].

Untuk menghitung dosis dari berkas foton asimetrik, Chui et.al [2] memperkenalkan suatu metoda yang didasarkan pada parameter dosimetri berkas foton simetrik. Metoda baru yang diperkenalkan pada akhir tahun 1988 tersebut belum pernah diterapkan pada pesawat linac selain jenis Varian Clinac-6/100 berenergi 6 MV. Dalam penelitian ini profil dosis berkas foton asimetrik yang berasal dari pesawat linac

Philips SL-25 dihitung dengan menggunakan metoda Chui, kemudian hasilnya dibandingkan dengan profil dosis hasil pengukuran.

TEORI

Perhitungan dosis untuk berkas foton asimetrik melibatkan sejumlah parameter dan memerlukan banyak data. Parameter tersebut antara lain adalah faktor keluaran (OF), nisbah tertinggi-jaringan (TMR), dan nisbah sentra-jauh (OCR).

Faktor keluaran (OF)

OF adalah perbandingan laju dosis pada luas lapangan $w \times w$ cm terhadap laju dosis pada luas lapangan 10×10 cm, yang diukur pada kedalaman d -max [3]. Dengan definisi tersebut, OF secara matematik dapat dituliskan:

$$OF(W) = \dot{D}(W) / \dot{D}(10) \quad (1)$$

Nisbah tertinggi-jaringan (TMR)

TMR adalah perbandingan laju dosis untuk luas lapangan $w \times w$ cm pada kedalaman d (cm) terhadap laju dosis di titik yang sama pada

kedalaman d-max [3]. Selanjutnya TMR dapat dirumuskan:

$$TMR(d,w) = \dot{D}(d,w) / \dot{D}(d-max,w) \quad (2)$$

Nisbah sentra-jauh (OCR)

OCR didefinisikan sebagai perbandingan laju dosis pada jarak r (cm) dari sumbu berkas simetri terhadap laju dosis pada sumbu berkas pada kedalaman yang sama [4]. OCR dapat dituliskan

$$OCR(r,d) = \dot{D}(r,d) / \dot{D}(0,d) \quad (3)$$

Dalam metoda Chui [4], OCR dihitung dengan mengalikan nisbah sentra-jauh utama (POCR) dan fungsi batas (BF) seperti yang dijelaskan berikut ini.

Nisbah sentra-jauh utama (POCR)

POCR didefinisikan sebagai perbandingan laju dosis pada jarak r(cm) dari sumbu pusat terhadap laju dosis pada sumbu pusat pada kedalaman yang sama untuk luas lapangan maksimum [4].

Idealnya, POCR diukur pada lapangan radiasi tak-hingga, tanpa adanya sistem kolimator. Akan tetapi hal ini tentu saja tidak mungkin bisa dilakukan. Sebagai pendekatannya, POCR ditentukan pada profil dosis pada arah diagonal dari lapangan 40 x 40 cm.

Fungsi batas (BF)

BF ini dimaksudkan untuk menjelaskan distribusi laju dosis di daerah sekitar perbatasan lapangan radiasi. Selanjutnya BF didefinisikan sebagai perbandingan dari OCR di suatu titik dengan POCR pada titik yang sama [4] dan dirumuskan:

$$BF(s,d) = OCR(r,d) / POCR(r,d) \quad (4)$$

di mana s(cm) adalah jarak dari titik pengukuran ke batas lapangan radiasi. s adalah nol untuk titik tepat pada batas, s-positif untuk daerah di dalam berkas radiasi, dan s-negatif untuk daerah di luar berkas daerah radiasi. Apabila nilai-nilai POCR dan BF telah diketahui, maka nilai OCR di semua titik dalam berkas radiasi dapat ditentukan dengan perumusan:

$$OCR(r,d) = POCR(r,d) \times BF(s,d) \quad (5)$$

Dengan mengetahui OCR di semua titik, maka laju dosis radiasi di semua titik, $\dot{D}(r,d,w)$, akhirnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [1],[2] dan [3]:

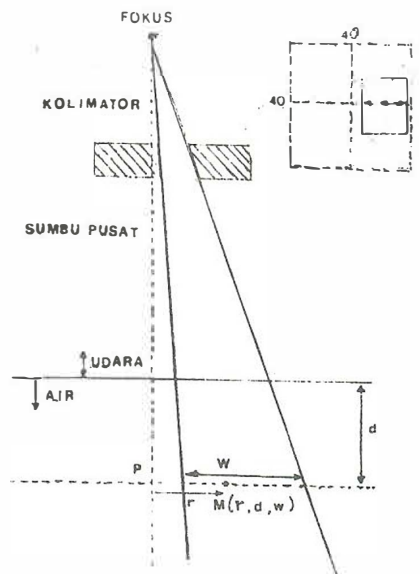
$$\dot{D}(r,d,w) = \dot{D}(10) \times OF(w) \times TMR(d,w) \times OCR(r,d) \quad (6)$$

$\dot{D}(r,d,w)$ mewakili laju dosis untuk semua titik di bawah berkas radiasi foton asimetrik (Gambar 1).

Membagi $\dot{D}(r,d,w)$ dengan dosis referensi, $\dot{D}(10)$, akan didapatkan distribusi laju dosis (profil dosis) dari berkas foton yang bersangkutan.

$$\dot{D}(r,d,w) / \dot{D}(10) = OF(w) \times TMR(d,w) \times OCR(r,d) \quad (7)$$

Dengan mengetahui nilai-nilai OF, TMR dan OCR, maka distribusi laju dosis untuk lapangan radiasi asimetrik pada kedalaman tertentu dapat dihitung secara manual dengan



Gambar 1. Berkas foton asimetrik perhitung-an dosis di titik M (r,d,w)

menggunakan persamaan (7) di atas.

PERALATAN DAN TATA KERJA

Pengukuran Faktor Keluaran (OF)

Detektor bilik pengionan 0,6 cc. (Nuclear Enterprise Inc.) yang dihubungkan dengan Dosemeter Farmer digital model 2570, dan fantom-airstandar yang berdimensi luar 30 x 30 x 30 cm digunakan dalam penelitian ini. Berkas foton yang digunakan berenergi 6-MV dan berasal dari pesawat linac Philips SL-25.

Pusat bilik pengionan ditempatkan tepat pada isocentre (pusat rotasi kepala) pesawat, pada kedalaman dosis maksimum (d-max), yaitu 1,5 cm air. Pengukuran OF dilakukan dengan menggunakan lapangan radiasi bujur sangkar dan empat persegi panjang dari 5 x 5

cm sampai dengan 25 x 25 cm. Dosis yang tercatat kemudian dikalikan dengan faktor koreksi temperatur dan tekanan udara ruang, K_{PT} [5]. Faktor konversi R/Gy dan faktor koreksi K_{PT} sudah *built-in* dalam Dosemeter Farmer 2570.

Pengukuran Nisbah Tertinggi-Jaringan (TMR)

Peralatan yang digunakan adalah sama dengan peralatan untuk pengukuran OF. Pengukuran dilakukan pada lapangan radiasi bujur sangkar 5 x 5 cm sampai dengan 25 x 25 cm, dan kedalaman dari 1,5 sampai dengan 20 cm air.

Pengukuran Profil Dosis

Peralatan-peralatan berikut ini digunakan untuk mengukur profil dosis:

1. Fantom-air Therados Scanditronix yang berdimensi luar 60 x 60 x 50 cm.
2. Dua detektor dioda silikon (tipe-p). Satu untuk *scanning* profil dosis, yang lainnya sebagai referensi.
3. Panel kontrol yang digunakan untuk mengatur posisi dari *scanning detector*.
4. *Plotter*.

Detektor diatur pada posisi *isocentre level*. *Scanning* dilakukan dengan menggerakkan detektor di bawah berkas radiasi, pada kedalaman air. Dilakukan pengukuran dua jenis profil dosis:

1. Profil dosis utama untuk melakukan POCR, diukur pada arah diagonal dari lapangan radiasi 40 x 40 cm, dengan kedalaman air 1,5; 5; 10; 15 dan 20 cm.
2. Profil dosis untuk menentukan OCR diukur untuk lapangan radiasi 8 x 8 cm, 10 x 10 cm dan 15 x 15 cm pada arah sumbu utama (sumbu X dan Y), masing-masing pada kedalaman air 1,5; 5; 10; 15 dan 20 cm.

Pengukuran Dosis Berkas Foton Asimetrik

Peralatan yang digunakan sama dengan peralatan untuk pengukuran OF.

Pada pengukuran ini, lapangan radiasi asimetrik 10 x 15 cm digeser sejauh 5 cm dan 10 cm dari sumbu pusat. Detektor kemudian digerakkan, dari kiri ke kanan, menyeberangi berkas radiasi. Pada setiap posisi (r,d,w) di mana r adalah jarak ke sumbu pusat (dalam cm), d adalah kedalaman air (dalam cm) dan w adalah panjang sisi lapangan radiasi bujur sangkar (dalam cm), dosisnya dicatat. Variasi kedalaman airnya adalah 1,5; 5; 10 dan 15 cm.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran OF dari pesawat *linac* Philips SL-25 dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa OF semakin besar dengan adanya penambahan luas lapangan radiasi (w). Penambahan nilai OF terhadap luas lapangan (w) hampir mengikuti fungsi hiperbolik, seperti dinyatakan oleh Horn [6].

Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa besarnya nilai OF bergantung pada cara pembukaan rahang (jaw). Luas lapangan yang sama bisa memberikan nilai OF yang berbeda. Pembukaan rahang atas (Y) cenderung memberikan nilai OF yang lebih besar dari pada rahang bawah (X), misalnya nilai OF (5 x 25) lebih besar 1% daripada nilai OF (25 x 5). Pengaruh ini juga pernah dilaporkan oleh Luxton et.al [7] yang menggunakan linac CGR Saturne-25.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa untuk kedalaman lebih besar dari 3 cm, nilai TMR semakin besar dengan adanya penambahan luas lapangan radiasi.

Tabel 1. Faktor keluaran (OF) dari berkas radiasi foton berenergi 6MV, Philips SL-25

Luas lapangan (FS) cm x cm	OF
5 x 5	0,956
6 x 6	0,967
7 x 7	0,976
8 x 8	0,986
9 x 9	0,993
10 x 10	1,000
11 x 11	1,007
12 x 12	1,012
13 x 13	1,017
14 x 14	1,022
15 x 15	1,026
16 x 16	1,030
17 x 17	1,033
18 x 18	1,035
19 x 19	1,038
20 x 20	1,040
21 x 21	1,042
22 x 22	1,044
23 x 23	1,046
24 x 24	1,048
25 x 25	1,049

Perbedaan TMR (20,25) dan TMR (20,5) mencapai 11%. Hal ini disebabkan oleh adanya perbedaan intensitas dan energi radiasi hambur yang datang dari sistem kolimator dan fantom-air. Hal demikian telah diuraikan dalam

pengembangan konsep nisbah udara-jaringan (TAR) menjadi konsep nisbah tertinggi-jaringan untuk berkas foton energi tinggi [8].

Nilai POCR yang diperoleh dari hasil pengukuran profil dosis utama dapat dilihat pada

Tabel 2. Faktor keluaran (OF) untuk lapangan radiasi bujur sangkar dan empat persegi panjang, dari berkas foton 6-MV, Philips SL-25

Rahang bawah (X), cm	Rahang atas (Y), cm						
	5,0	8,0	10,0	12,0	15,0	20,0	25,0
5,0	0,956	0,972	0,979	0,983	0,987	0,991	0,993
8,0	0,968	0,986	0,994	1,002	1,007	1,012	1,014
10,0	0,972	0,992	1,000	1,008	1,013	1,021	1,023
12,0	0,975	0,995	1,005	1,012	1,019	1,025	1,028
15,0	0,978	0,999	1,010	1,016	1,026	1,033	1,036
20,0	0,982	1,003	1,014	1,023	1,032	1,040	1,044
25,0	0,983	1,006	1,017	1,026	1,035	1,043	1,049

Tabel 4 (halaman berikut). Nilai POCR tersebut telah dinormalisasikan ke dosis sumbu pusat.

Nilai fungsi batas (BF) yang dihitung dengan menggunakan persamaan (4) diperlihatkan pada Tabel 5 (halaman berikut).

Selanjutnya BF tersebut dapat digunakan kembali untuk menghitung OCR dengan menggunakan persamaan (5).

Perbandingan antara profil dosis terukur dan hasil perhitungan dengan persamaan (7) dapat dilihat pada Gambar 2, 3, 4 dan 5 (lihat halaman berikut). Dari gambar-gambar tersebut, terlihat adanya sedikit perbedaan antara kedua profil dosis. Untuk titik-titik yang

3%. Hal ini mungkin disebabkan oleh karena metoda Chui yang mengasumsikan bahwa POCR untuk berkas asimetrik adalah sama dengan berkas simetrik. Selain itu perlu diketahui pula bahwa nilai POCR tergantung

pada jenis dan bahan filter penyeragam berkas (flattening filter) dan susunan kolimator, sehingga tiap-tiap jenis pesawat memiliki POCR tersendiri.

KESIMPULAN

Telah didapatkan profil dosis berkas foton asimetrik yang berasal dari pesawat linac Philips SL-25, baik dari perhitungan maupun hasil pengukuran pada berbagai kedalaman air. Profil dosis pengukuran tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran langsung dengan menggunakan bilik pengionan 0,6 cc.

Metoda Chui untuk dosimetri radioterapi berkas foton asimetrik dapat dikatakan cukup

Tabel 3. TMR dari berkas foton 6-MV, Philips SL-25

Kedalaman (cm)	Luas lapangan (FS) (cm x cm)						
	5 x 5	8 x 8	10 x 10	12 x 12	15 x 15	20 x 20	25 x 25
1,5	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2,0	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999
3,0	0,977	0,981	0,981	0,982	0,982	0,983	0,983
5,0	0,910	0,923	0,929	0,932	0,936	0,942	0,944
8,0	0,807	0,830	0,843	0,849	0,859	0,869	0,875
10,0	0,741	0,770	0,784	0,794	0,805	0,819	0,829
12,0	0,682	0,711	0,729	0,740	0,759	0,770	0,782
15,0	0,599	0,632	0,651	0,664	0,682	0,701	0,715
20,0	0,486	0,517	0,534	0,549	0,568	0,592	0,611

dekat dengan sumbu berkas, perbedaannya di bawah 1%. Untuk daerah yang jauh dari sumbu pusat, misalnya 14 cm, perbedaannya mencapai

akurat, sehingga parameter berkas simetrik yang telah ada dapat digunakan untuk menentukan profil dosis berkas foton asimetrik. Wa-

Tabel 4. POCR untuk berkas foton 6-MV, Philips SL-25

POCR					
r (cm)	d = 1,5	d = 5,0	d = 10,0	d = 15,0	d = 20,0
16,0	1,062	1,044	1,017	0,995	0,972
15,5	1,060	1,042	1,017	0,996	0,975
15,0	1,058	1,041	1,017	0,998	0,978
14,5	1,056	1,039	1,017	0,999	0,982
14,0	1,054	1,038	1,017	1,001	0,985
13,5	1,051	1,036	1,017	1,003	0,988
13,0	1,048	1,034	1,017	1,004	0,991
12,5	1,047	1,033	1,017	1,004	0,992
12,0	1,046	1,032	1,016	1,004	0,992
11,5	1,043	1,031	1,016	1,004	0,992
11,0	1,040	1,029	1,015	1,004	0,992
10,5	1,037	1,026	1,014	1,004	0,993
10,0	1,034	1,023	1,011	1,002	0,993
09,5	1,028	1,019	1,007	1,000	0,993
09,0	1,022	1,014	1,005	0,999	0,993
08,5	1,018	1,010	1,003	0,998	0,994
08,0	1,013	1,007	1,002	0,999	0,995
07,5	1,009	1,005	1,002	0,999	0,996
07,0	1,006	1,003	1,002	0,999	0,996
06,5	1,006	1,002	1,002	1,000	0,998
06,0	1,006	1,002	1,002	1,001	1,000
05,5	1,006	1,002	1,002	1,001	1,001
05,0	1,006	1,003	1,003	1,002	1,001
04,5	1,006	1,003	1,003	1,002	1,001
04,0	1,006	1,003	1,002	1,002	1,001
03,5	1,004	1,002	1,001	1,001	1,000
03,0	1,002	1,000	1,000	1,000	1,000
02,5	0,997	0,998	0,999	1,000	1,000
02,0	0,993	0,994	0,997	0,999	1,000
01,5	0,990	0,992	0,995	0,998	1,000
01,0	0,988	0,990	0,992	0,996	1,000
00,5	0,992	0,993	0,996	0,998	1,000
00,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

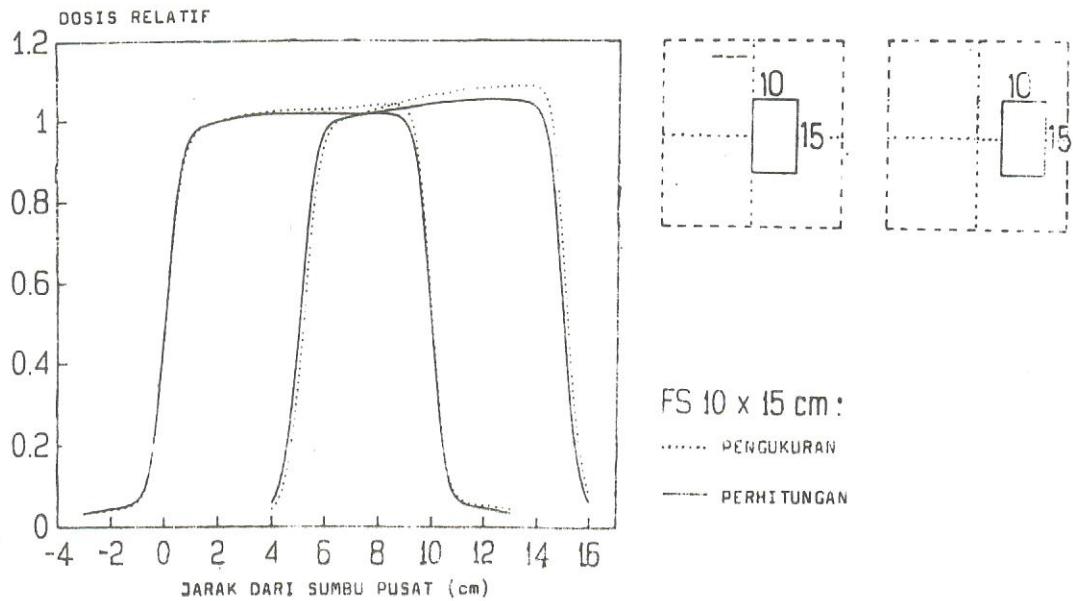
laupun untuk daerah yang semakin jauh dari sumbu pusat dapat terjadi perbedaan dosis sekitar 3%, dipandang dari segi dosimetri, angka perbedaan 3% ini masih di bawah total toleransi dosis yang diijinkan untuk terapi, yaitu sebesar 5%.

UCAPAN TERIMAKASIH

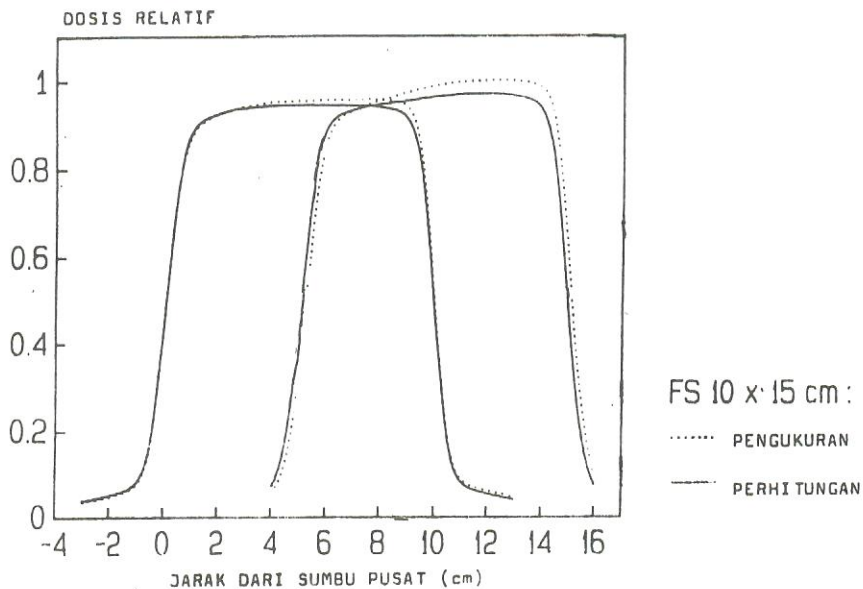
Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada DR. L. Holley (University of Technology Sydney) dan Mr. J.F. Drew (Westmead Hospital) yang telah menjadi pembimbing dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. PODGORSK, E.B., GOSSELIN, M., PLA, M., KIM, T.H., FREEMAN, C.R., A simple isocentric technique for irradiation of the breast, chest, wall and peripheral lymphatics. The British Journal of Radiology, 57 (1984) 57-63.
2. CHUI, C.S., MOHAN, R., FONTELA, D., Dose computations for asymmetric fields defined by independent jaws, Medical Physics 15 (1988) 92-95.

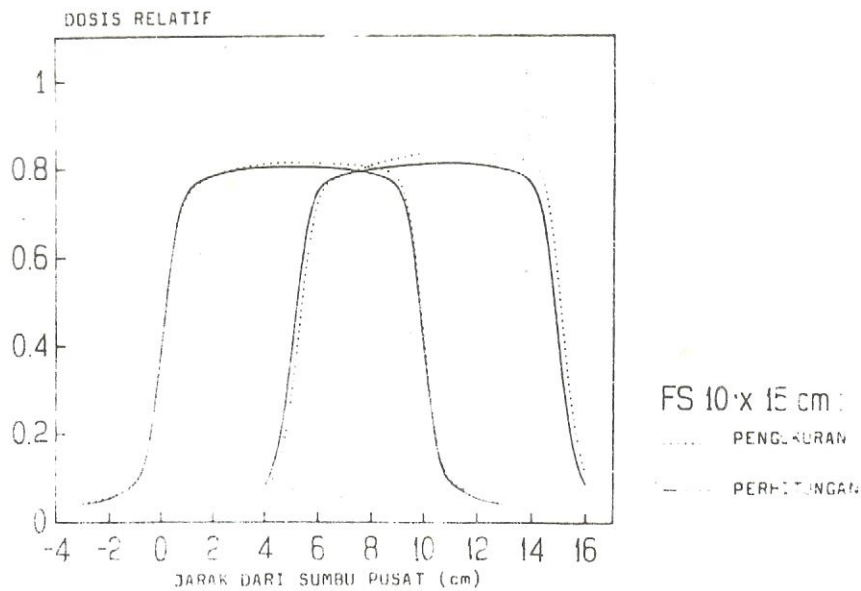


Gambar 2. Profil dosis terukur dan hasil perhitungan dari berkas foton asimetrik, pada kedalaman 1,5 cm air.

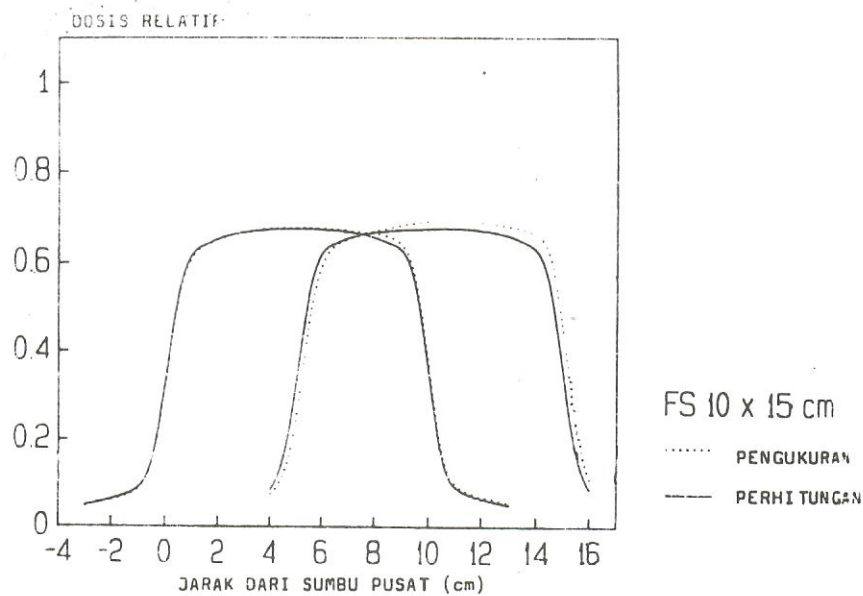


Gambar 3. Profil dosis terukur dan hasil perhitungan dari berkas foton asimetrik, pada kedalaman 5 cm air.

3. KHAN, F.M., SEWCHAND, W., LEE, J., WILLIAMSON, J.F., Revision of tissue-maximum ratio and scatter-maximum ratio concepts for cobalt-60 and higher energy x-ray beams, Medical Physics; 7 (1980) 230-237.



Gambar 4. Profil dosis terukur dan hasil perhitungan dari berkas foton asimetrik, pada kedalaman 10 cm air.



Gambar 5. Profil dosis terukur dan hasil perhitungan dari berkas foton asimetrik, pada kedalaman 15 cm air.

4. CHUI, C.S., MOHAN, R., Off-centre ratios for three-dimensional dose calculations, Medical Physics, 13 (1986) 409-412.

5. MASSEY, J.B., Manual of dosimetry in radiotherapy, Technical reports series no.110, IAEA, Vienna (1970)
6. HORN, R.A., Computer program for output and depth dose from hyperbolic equations, *Medical Physics*, 8 (1981) 108-110.
7. LUXTON, G., ASTRAHAN, M.A., Characteristics of the high-energy photon beam of a 25-MV accelerator, *Medical Physics*, 15 (1986) 82-87.
8. HOLT, J.G., LAUGHLIN, J.S., MORONEY, J.P., The extension of the concept tissue-air ratio (TAR) to high-energy x-ray beams, *Radiology*, 96 (1970) 437-446.
9. JOHNS, H.E., CUNNINGHAM, J.R., *The physics of radiology*, 4th edition, Springfield, Illinois (1985)
10. IAEA, Technical reports series no. 277, Vienna (1987)