

STUDY INTRA-OPERATIVE RADIATION THERAPY (IORT) PADA LINAC KONVENSIONAL BERDASARKAN PERCENTAGE DEPTH DOSE (PDD) DAN PROFIL DOSIS BERKAS ELEKTRON

Sabriani Suci Zasneda
(Dosen Radiodiagnostik dan Radioterapi
Fakultas Kesehatan Universitas Efarina)

ABSTRAK

Intra-Operative Radiation Therapy (IORT) adalah terapi radiasi yang dilakukan pada saat operasi pengangkatan tumor. Teknik ini menghantarkan radiasi elektron dosis tinggi dalam satu kali paparan radiasi dengan teknologi mobile linac. Pada penelitian ini, dikaji pemodelan teknik IORT menggunakan pesawat linac konvensional dengan simulasi Monte Carlo code EGSnrc. Simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut: (1) memodelkan dan simulasi head akselerator konvensional tanpa aplikator untuk berkas elektron keluaran 10 MeV menggunakan BEAMnrc. (2) memodelkan aplikator IORT berbahan PMMA berdiameter 10 cm dan ketebalan 0.5 cm dengan SSD 80 cm dan 100 cm untuk diameter 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm dan mensimulasikannya dengan hasil simulasi pertama sebagai input. (3) simulasi berkas elektron 10 MeV dalam phantom air berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm. Simulasi dengan BEAMnrc menunjukkan adanya kontaminasi bremsstrahlung pada spektrum energi 0.5 MeV dan berkas elektron terhambur sejauh 10 derajat. Ketika simulasi menggunakan DOSXYZnrc dihasilkan bentuk sebaran dosis yang baik, dengan kedalaman maksimum sebesar 5 cm dan profil dosis dengan kedataran dibawah 3% dan lebar penumbra sekitar 12 mm – 14 mm (dalam batas toleransi yang dibolehkan).

Kata Kunci:
Intra-Operative Radiation Therapy (Iort), Linac Konvensional, Percentage Depth Dose (Pdd), Profil Dosis

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan salah satu terapi yang digunakan pada penanganan penyakit maligna atau keganasan (kanker/tumor). Biasanya penanganan kanker juga dikombinasikan dengan pembedahan dan kemoterapi, bergantung pada kasus kanker yang sedang dihadapi. Tujuan radioterapi adalah memberikan dosis radiasi yang tepat (presisi dan akurat) pada daerah yang sakit (disebut volume target) tanpa memberikan efek yang berarti pada jaringan sehat disekitarnya [1]. Untuk mencapai tujuan ini, pelaksanaan radioterapi dilakukan dalam beberapa kali pemaparan sinar radiasi selama selang waktu tertentu (4 – 6 minggu) yang dikenal dengan istilah fraksinasi.

Berdasarkan posisi sumber radiasi, radioterapi dibagi menjadi dua, yaitu External Beam Radiation Therapy (EBRT) dan brachytherapy. Pada EBRT berkas radiasi berasal dari pesawat linac / akselerator, sedangkan pada brachytherapy sumber radiasi dimasukkan kedalam tubuh di lokasi kanker berada.

Dalam beberapa dekade terakhir ini telah dikembangkan teknik penyampaian dosis radiasi yang dikenal dengan teknik Intra-Operative Radiation Therapy (IORT). Teknik IORT adalah suatu teknik yang menghantarkan radiasi dosis tinggi dalam satu kali paparan radiasi yang pelaksanaannya dilakukan tepat setelah tumor diangkat ketika pembedahan [2].

Dosis radiasi disampaikan dengan menggunakan sinar elektron yang dihasilkan oleh pesawat linac khusus IORT seperti Novac, Mobetron, dan Liac. Di Amerika dan Eropa, teknik IORT sudah dijadikan salah satu alternatif pada penanganan kasus tumor payudara.

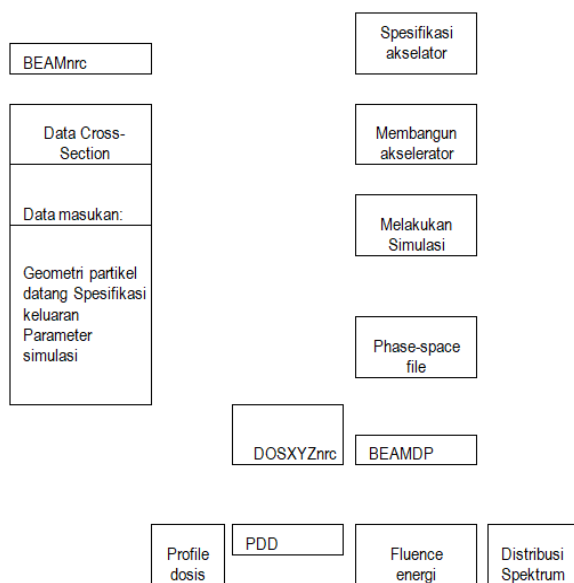
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian tesis ini adalah sebagai berikut:

- a. Identifikasi masalah
- b. Studi literatur
- c. Perancangan model dan simulasi
- d. Analisis pada hasil simulasi
- e. Merumuskan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil simulasi

Pada penelitian ini, penentuan karakteristik berkas elektron dan parameter dosimetri dilakukan dengan metode Monte

Carlo menggunakan program EGSnrc, yang terdiri atas BEAMnrc, BEAMDP, dan DOSXYZ.

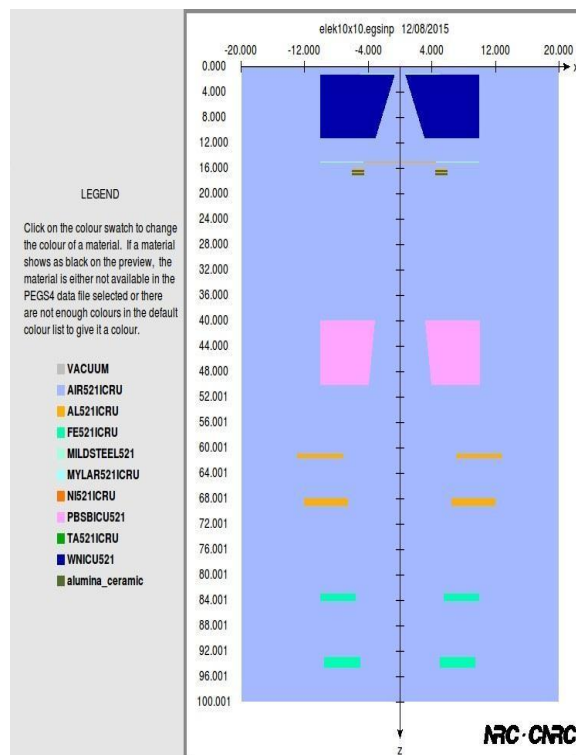


Gambar 1. bagan alur berpikir simulasi Monte Carlo

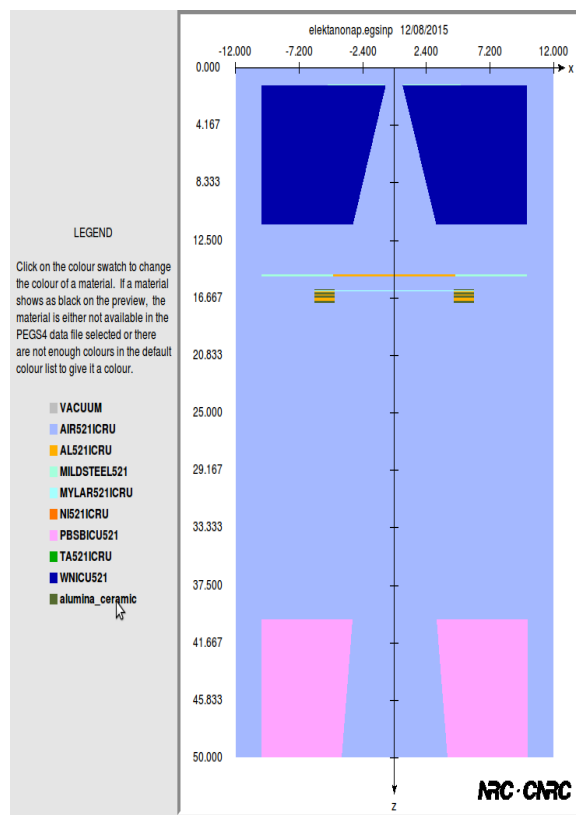
Simulasi yang dilakukan pada penelitian ini terdiri atas tiga tahap. Pertama, membangun model kepala akselerator menggunakan BEAMnrc, untuk mendapatkan data phase-space file, tahap kedua simulasi menggunakan BEAMDP dengan data phase-space file sebagai input, untuk memperoleh karakteristik berkas, dan tahap ketiga adalah simulasi dengan DOSXYZnrc untuk memperoleh parameter dosimetri.

Tahap I Membangun model kepala akselerator (head linac)

Spesifikasi akselerator kepala linac yang digunakan untuk memodelkan berkas elektron mengacu pada penelitian Deni Hardiansyah [9], yang telah membuat model head linac mode elektron untuk energi 10 MeV dengan lapangan berukuran 10 x 10 cm (gambar 2) dan model ini telah melalui proses commissioning. Tahap pertama penelitian ini adalah membangun kembali model head linac, tetapi dengan mereduksi bagian aplikator seperti yang ditunjukkan oleh bagan visualisasi Component Module BEAMnrc pada gambar 3.



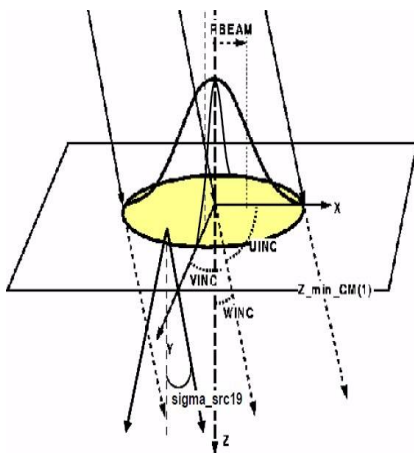
Gambar 2. Visualisasi kepala akselerator mesin Elekta dengan lapangan 10 x 10 cm2



Gambar 3. Visualisasi kepala akselerator Elekta tanpa aplikator

Berkas elektron yang keluar dari exit window dimodelkan oleh jenis sumber ISOURCE-19, yaitu model berkas monoenergetik dengan berbentuk distribusi radial Gaussian terhadap sumbu z, yang menggambarkan sebaran partikel lebih banyak pada daerah tengah jika dibandingkan dengan daerah pinggir, seperti yang diilustrasikan pada gambar 4. Sumber distribusi gaussian ini dipilih agar distribusi berkas elektron yang disimulasikan diharapkan mendekati distribusi berkas klinis.

Parameter yang digunakan untuk menentukan arah datang berkas sejajar sumbu z yaitu nilai UINC, VINC, dan WINC adalah 0, 0, dan 1[10]. Parameter yang digunakan untuk menentukan lebar distribusi radial berkas yang didefinisikan oleh FWHM (Full Width Half Maximum) bernilai 0.05. Parameter ini digunakan untuk model kepala linac yang digunakan dalam penelitian ini, baik kepala linac konvensional, maupun kepala linac tanpa aplikator. Dan hasil simulasi BEAMnrc berupa phase space file dan akan digunakan sebagai inputan untuk tahap selanjutnya.



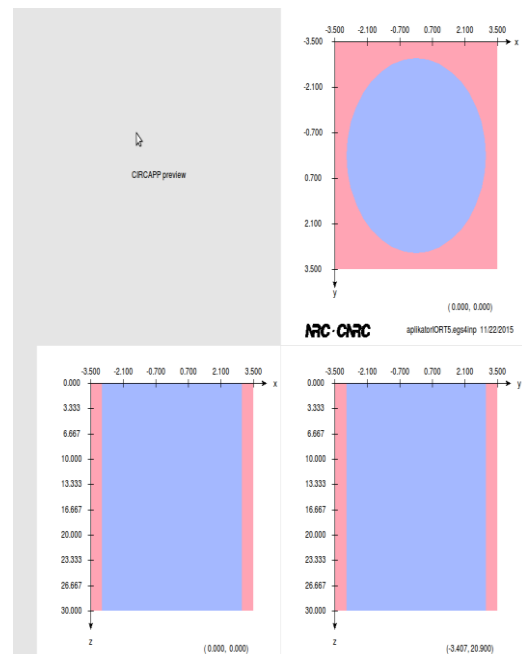
Gambar 4. ISOURCE-19

Tahap II Membangun aplikator IORT

Model aplikator yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan PMMA, yaitu materi/bahan yang digunakan untuk tujuan IORT[11], dengan ketebalan 0.5 cm dan panjang diatur sedemikian rupa untuk penggunaan SSD 80 cm dan 100 cm. Geometri yang digunakan menggunakan modul CIRCAPP, yaitu modul yang berfungsi sebagai aplikator dengan bukaan

lingkaran (gambar III.5). Untuk setiap nilai SSD yang digunakan, diameter model divariasikan antara 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Setelah model terbangun, (gambar) selanjutnya simulasi dapat dijalankan dengan inputan berupa phase space file hasil simulasi BEAMnrc tahap I.

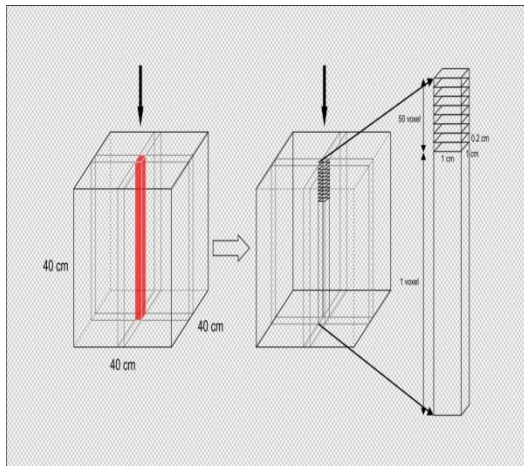
Hasil simulasi kemudian diolah menggunakan BEAMDP sehingga dapat dianalisa distribusi spektrum yang dihasilkan model kepala akselerator yang digunakan.



Gambar 5. Visualisasi model aplikator dengan modul CIRCAPP untuk diameter 6 cm

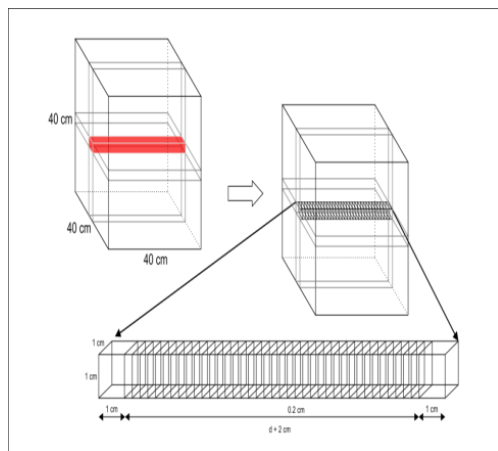
Tahap III Simulasi PDD dan Profile dosis dalam phantom air

Dengan menggunakan DOSXYZnrc, dibangun model phantom berukuran 40 cm x 40 cm x 40 cm. Penentuan PDD, scoring (pengukuran) dilakukan disepanjang sumbu z, dan phantom dibagi menjadi 2 zona dosis (dose zone). Zona pertama terdiri lapisan-lapisan voxel, dengan ukuran 1 x 1 x 0,2 cm sampai kedalaman 10 cm. sedangkan zona kedua merupakan kolom voxel dengan ukuran 1 x 1 x 30 cm (gambar 6).



Gambar 6. Bagan penentuan scoring PDD pada phantom air

Untuk menentukan profil dosis, scoring dilakukan pada kedalaman sekitar R80 dan dalam sumbu tegak lurus arah berkas. Kedalaman ini digunakan secara klinis, dan dipilih untuk menghindari build up, tetapi dosis masih bisa dibaca. Zona dosis terdiri atas lapisan lapisan kearah sumbu y, dengan ukuran voxel 1 x 1 x 1 cm³ ; 1 x 1 x 0.2 cm³ dan 1 x 1 x 1 cm³ (gambar 7).



Gambar 7. Bagan penentuan scoring profil dosis pada phantom air

HASIL PENELITIAN

Hasil analisis BEAMDP

Hasil simulasi berkas elektron 10 MeV pada BEAMnrc yang diolah dengan BEAMDP, diperoleh data informasi seluruh partikel yang terdapat pada phase space file berupa total partikel yang datang,

bagian partikel elektron, dan partikel foton seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

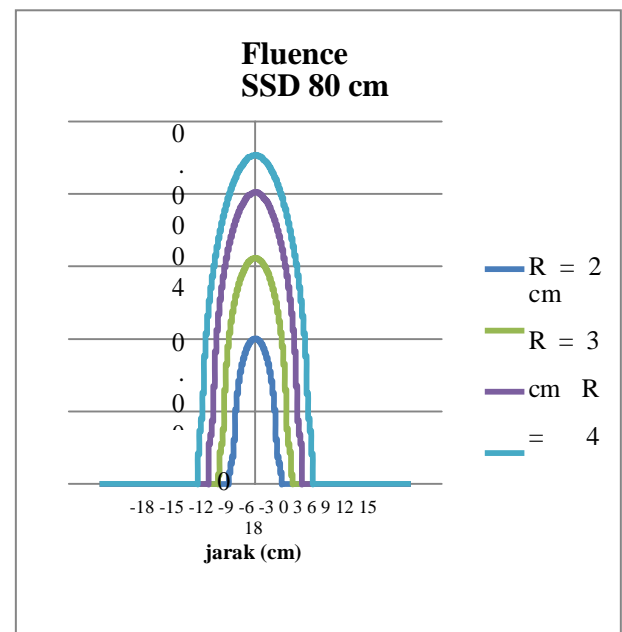
Tabel 1. Data partikel pada phase space file untuk SSD 80 cm

Jari-jari Aplikator	Incident particle	Jumlah partikel pada phsp		
		Total	Elektron	Foton
2 cm	4332105216	73393367	36941872	36451495
3 cm	2166052608	84305746	45482076	38823670
4 cm	1237744256	81529497	45038686	36490811
5 cm	928308224	84584903	46138237	28446666

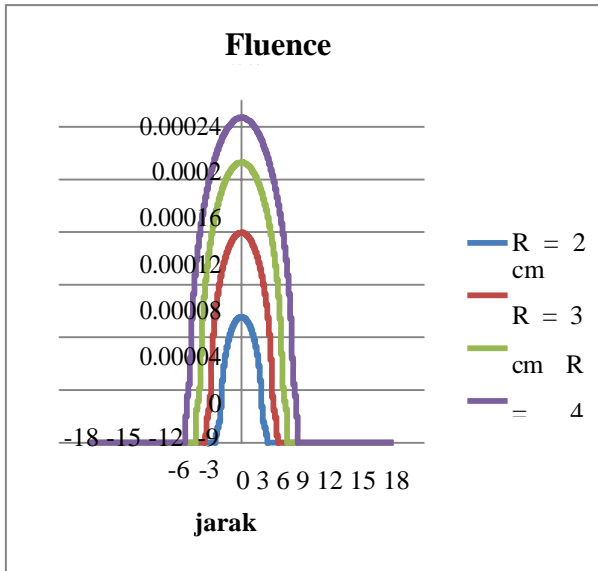
Tabel 2. Data partikel pada phase space file untuk SSD 100 cm

Jari-jari Aplikator	Incident particle	Jumlah partikel pada phsp		
		Total	Elektron	Foton
2 cm	8045338112	80319531	41116587	39202944
3 cm	3094360832	76296425	41333992	34961433
4 cm	1856616448	80670171	44986715	35683456
5 cm	1237744256	77087886	42468350	34619536

Data informasi partikel ini berguna untuk mengetahui jenis partikel yang lebih dominan. Dari ke empat ukuran jari-jari aplikator, baik untuk SSD 100 cm maupun untuk SSD 80 cm menunjukkan bahwa partikel elektron lebih dominan, artinya model akselerator yang digunakan sudah menggambarkan untuk model penggunaan terapi berkas elektron.



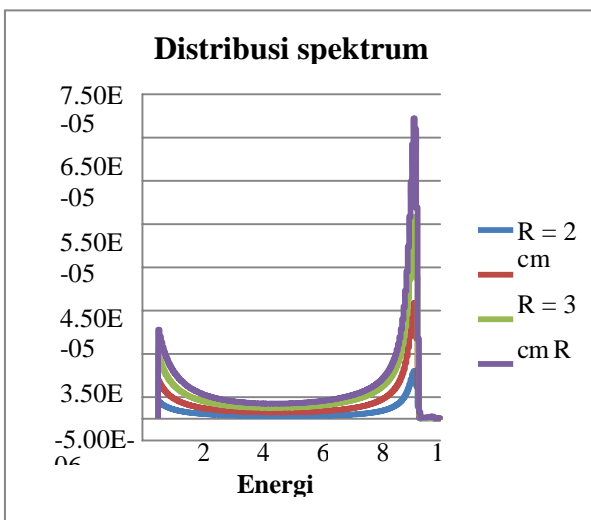
Gambar 8. Fluence berkas elektron 10 MeV untuk SSD 80 cm



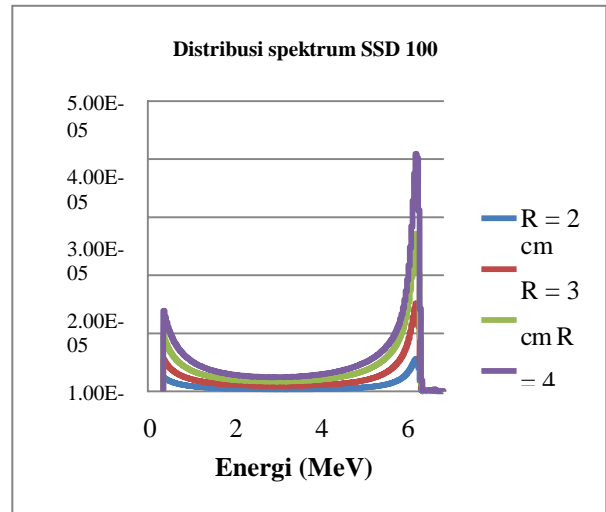
Gambar 9. Fluence berkas elektron 10 MeV untuk SSD 100 cm

Hasil analisis fluence pada simulasi berkas elektron dengan ukuran jari jari aplikator yang berbeda (gambar 8 dan 9) menunjukkan bahwa pada aplikator dengan jari jari 5 cm (paling besar) jumlah partikel yang datang paling banyak, dan menurun berdasarkan penurunan ukuran jari-jari aplikator. Artinya semakin besar ukuran jari jari aplikator maka jumlah partikel yang datang semakin banyak, baik untuk SSD 80 cm maupun untuk SSD 100 cm.

Hasil analisis distribusi spektrum dengan BEAMDP dipeoleh hasil spektrum sebagai berikut:



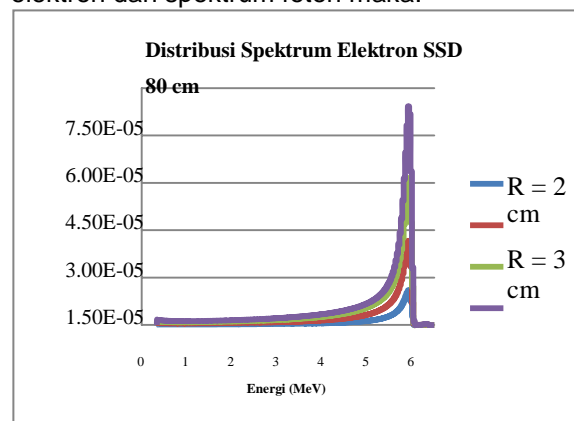
Gambar 10. Distribusi spektrum total berkas elektron 10 MeV untuk SSD 80 cm



Gambar 11. Distribusi spektrum total berkas elektron 10 MeV untuk SSD 100 cm

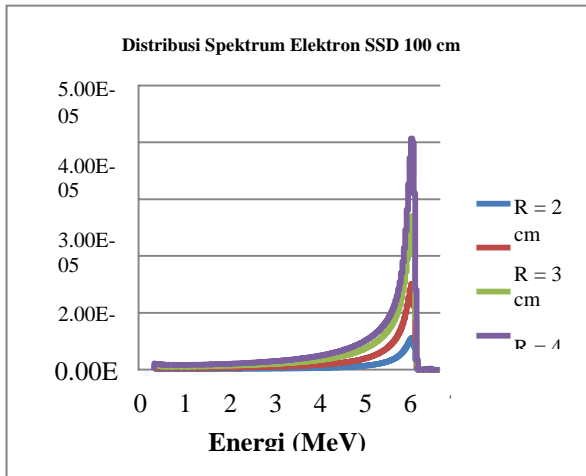
Distribusi spektrum hasil simulasi berkas elektron menunjukkan adanya spektrum bremsstrahlung pada energi sekitar 0.5 MeV. Spektrum bremsstrahlung ini terjadi sebagai akibat dari interaksi elektron dengan setiap materi yang dilewatinya pada komponen kepala akselerator, aplikator, maupun dengan udara. Spektrum elektron berada pada energi sekitar 9.5 MeV. Distribusi spektrum lebih tinggi untuk berkas elektron dengan bukaan aplikator yang lebih besar. Selain itu, distribusi spektrum menunjukkan nilai yang lebih besar untuk SSD 80 cm, hal ini berhubungan dengan letak sumber pada SSD 80 cm lebih dekat dibandingkan pada SSD 100 cm.

Jika dipisahkan antara spektrum elektron dan spektrum foton maka:

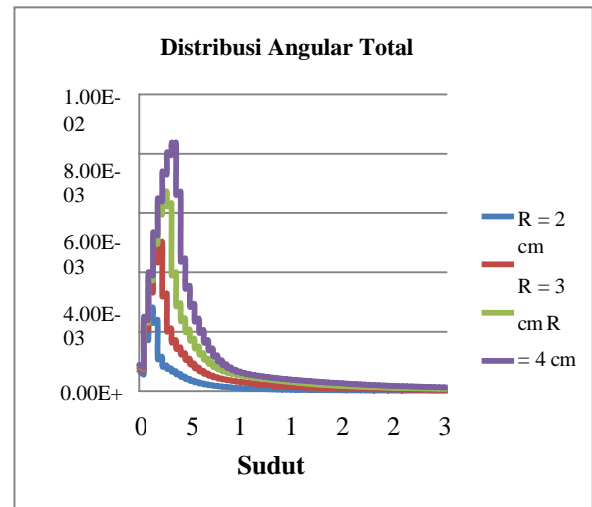


Gambar 12. Distribusi spektrum elektron untuk SSD 80 cm

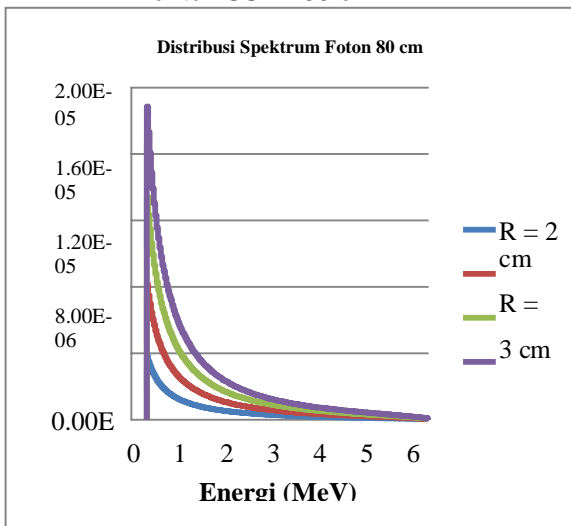
Sedangkan untuk analisis distribusi angular diperoleh grafik sebagai berikut:



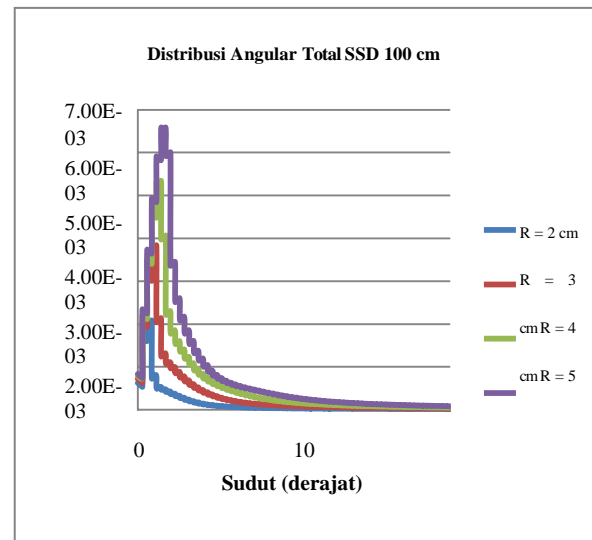
Gambar 13. Distribusi spektrum elektron untuk SSD 100 cm



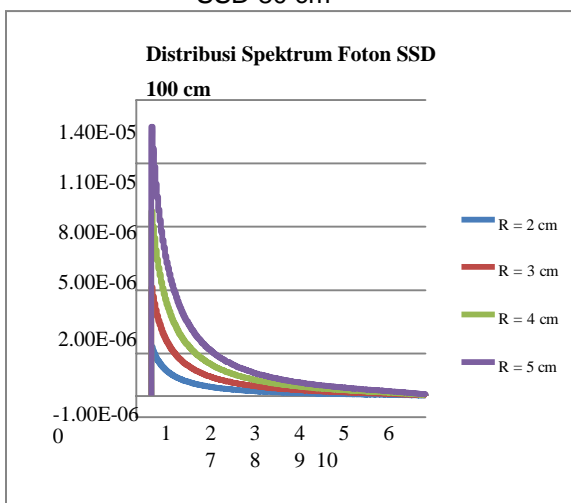
Gambar 16. Distribusi angular berkas untuk SSD 80 cm



Gambar 14. Distribusi spektrum foton untuk SSD 80 cm



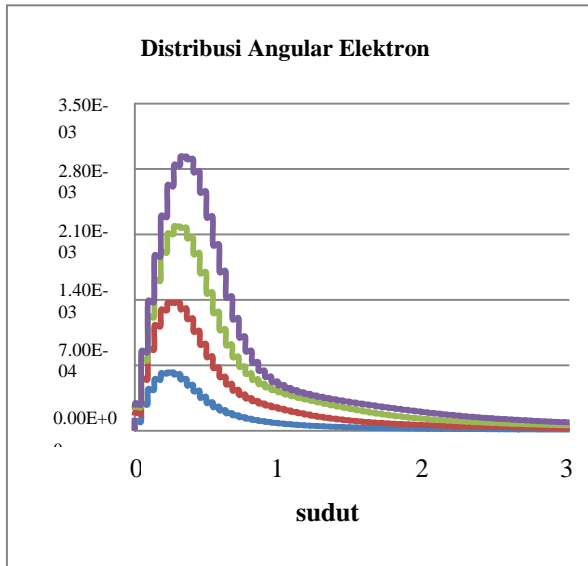
Gambar 17. Distribusi angular berkas untuk SSD 100 cm



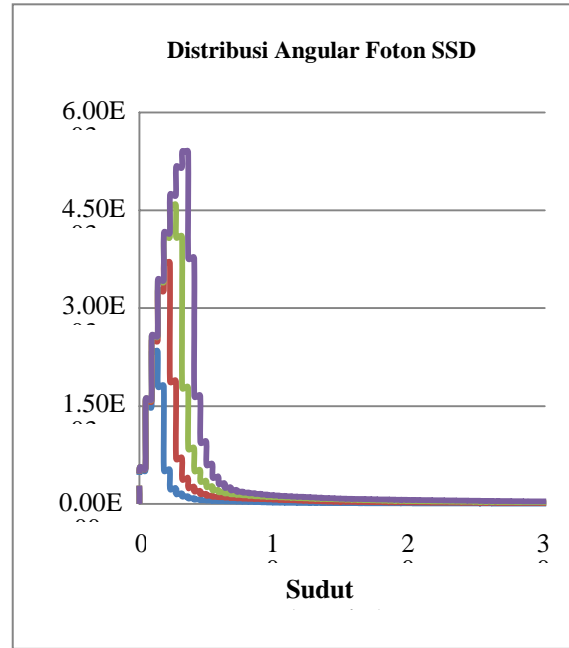
Gambar 15. Distribusi spektrum foton untuk SSD 100 cm

Dari grafik menunjukkan bahwa distribusi angular kedua SSD berada pada sudut sekitar 10 derajat dari sumbu utama. Artinya untuk model berkas elektron pada energi 10 MeV maka berkas akan terhambur 10 derajat ke arah radial dari sumbu utama. Distribusi angular berkas untuk SSD 100cm tampak lebih lebar, namun masih berada disekitar sudut terkait. Semakin besar diameter aplikator, maka distribusi angular semakin lebar. Jika analisis distribusi angular dipisahkan antara

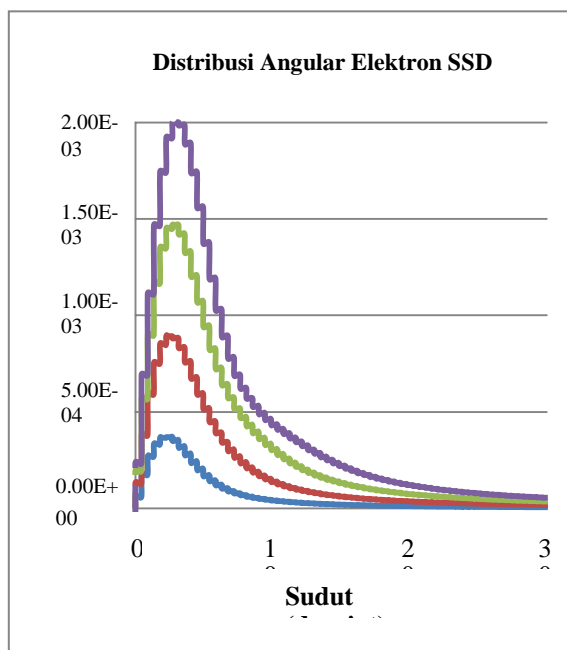
elektron dan foton, maka diperoleh grafik sebagai berikut:



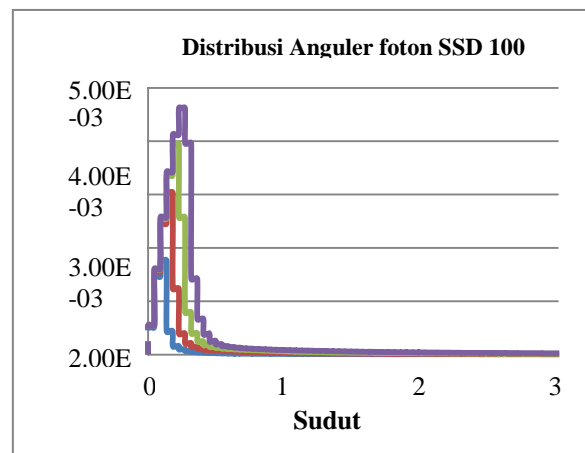
Gambar 18. Distribusi angular elektron untuk SSD 80 cm



Gambar 20. Distribusi angular foton untuk SSD 80 cm



Gambar 19. Distribusi angular elektron untuk SSD 100 cm



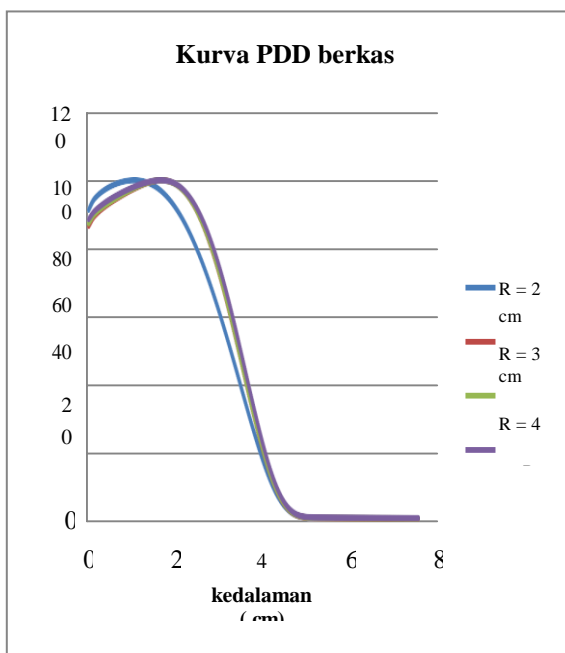
Gambar 21. Distribusi angular foton untuk SSD 100 cm

Dari ke empat grafik diatas yang berkontribusi pada distribusi angular ini adalah partikel elektron. Hal ini disebabkan oleh karena selama bergerak elektron akan mengalami hamburan pada setiap partikel yang dilewatinya disepanjang lintasannya. Sedangkan untuk foton memiliki lintasan yang cenderung lurus.

PEMBAHASAN

Hasil Pembacaan Statdose

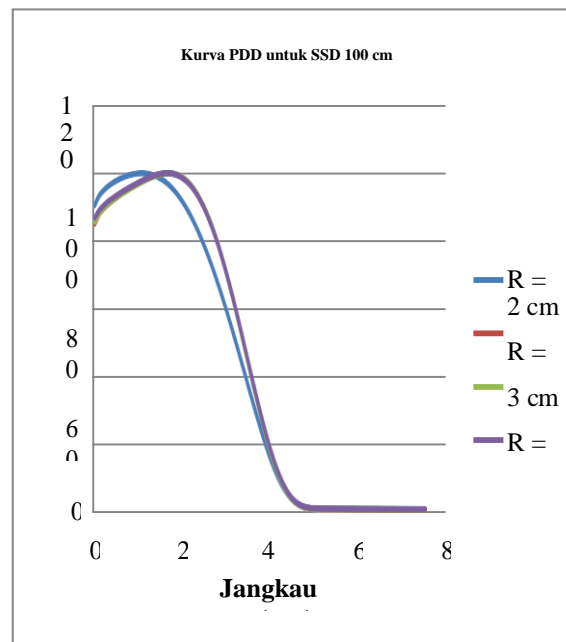
Dari simulasi berkas elektron energi 10 MeV dalam phantom air berukuran 40 x 40 x 40 cm yang sudah diolah dengan menggunakan Statdose, diperoleh data dosis terhadap kedalaman, yang disertai dengan nilai error. Untuk memperoleh kurva percentage depth dose (PDD), setiap data dosis dinormalisasi dengan dosis maksimum. Sehingga diperoleh kurva PDD sebagai berikut.



Gambar 22. Kurva PDD berkas elektron 10 MeV untuk SSD 80 cm

Jarak antara permukaan sampai dengan titik dosis maksimum disebut kedalaman maksimum (dmax). Kedalaman dosis maksimum biasanya disebut kedalaman build up. Kedalaman build up dipengaruhi oleh lapangan radiasi (dalam hal ini ukuran jari-jari aplikator) dan energi radiasi. Grafik PDD simulasi berkas elektron berenergi 10 MeV untuk nilai SSD 80 cm (gambar 22) diperoleh nilai dmax berada pada kedalaman 1.05 cm, 1.75 cm, untuk ukuran jari-jari aplikator 2 cm, 3 cm, dan 1,65 cm untuk jari-jari 4 serta 5 cm. Kedalaman untuk nilai dosis 80% digunakan sebagai acuan untuk menentukan profil dosis, kedalaman pada dosis 80% ini digunakan untuk menghindari daerah build up, namun

dosis masih cukup untuk dapat diukur. Nilai dosis sekitar 80% berada pada kedalaman 2.45 cm untuk ukuran jari-jari aplikator 2 cm, dan 2.85 cm untuk ukuran jari-jari aplikator lainnya. Sedangkan nilai dosis sekitar 10% berada pada kedalaman 4.5 cm untuk ke empat ukuran jari-jari aplikator. Dan deviasi rata-rata hasil simulasi adalah 6.1×10^{-12} , 7.2×10^{-12} , 5.2×10^{-13} , dan 6.7×10^{-12} untuk ukuran jari-jari aplikator 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm.

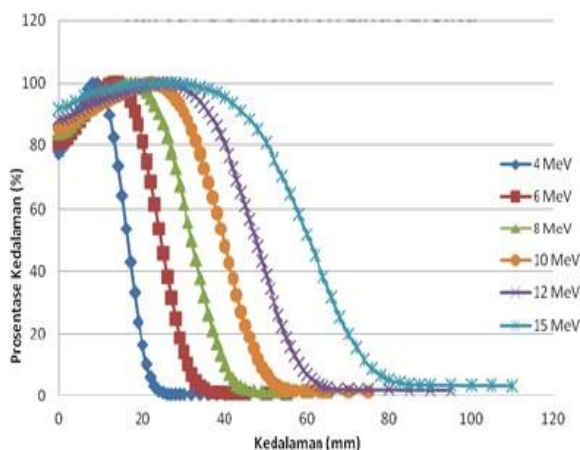


Gambar 23. Kurva PDD berkas elektron untuk SSD 100 cm

Dari grafik PDD simulasi berkas elektron pada nilai SSD 100 cm (gambar 23) nilai dmax berada pada kedalaman 1.15 cm untuk ukuran jari-jari aplikator 2 cm dan 1.75 cm untuk ukuran jari-jari aplikator 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Nilai dosis 80% berada pada kedalaman 2.45 cm untuk jari-jari aplikator 2 cm dan 2.8 cm untuk jari-jari aplikator 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Nilai dosis 10% berada pada kedalaman 4.25 cm untuk keempat ukuran jari-jari aplikator. Dengan nilai deviasi rata-rata simulasi ini adalah 3.7×10^{-12} , 4.9×10^{-12} , 5.0×10^{-12} dan 4.6×10^{-12} untuk masing masing ukuran jari-jari aplikator 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm.

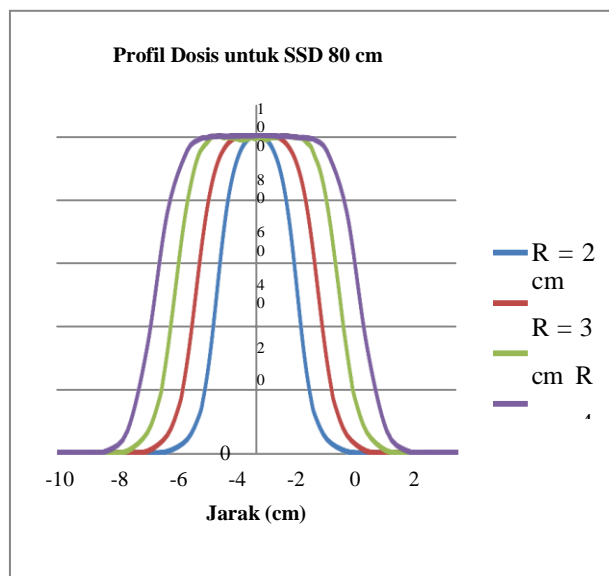
Hasil simulasi diatas untuk kedua nilai SSD (100 cm dan 80 cm) dan untuk ke empat jenis ukuran jari-jari aplikator (2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm) menunjukkan bahwa

jangkauan maksimum sekitar 5 cm dan jangkauan maksimum tidak dipengaruhi oleh ukuran lapangan. Jika dibandingkan dengan pengukuran berkas elektron berenergi 10 MeV untuk pelaksanaan terapi konvensional dengan lapangan 10 x 10 cm² yang menghasilkan jangkauan kedalaman maksimum sekitar 5 cm menunjukkan bahwa model simulasi ini sudah sesuai.



Gambar 24. Kurva PDD berkas elektron dari hasil pengukuran [12]

Untuk menentukan profil dosis, data hasil pembacaan oleh statdose berupa jarak dan nilai dosis yang disertai error juga dinormalisasi terlebih dahulu, sehingga diperoleh kurva profil dosis seperti pada gambar 25 dan 26.



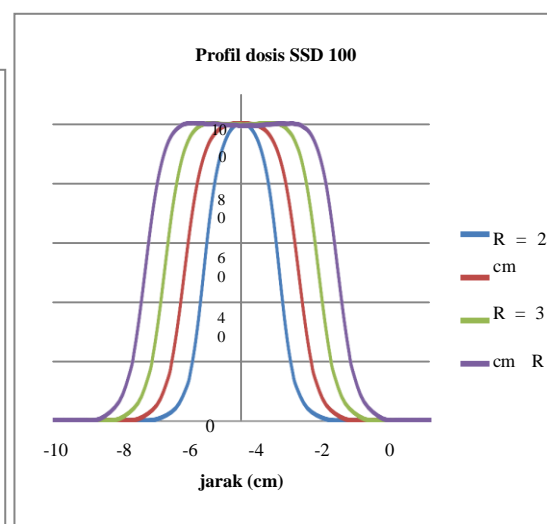
Gambar 25. Grafik profil dosis untuk SSD 80 cm

Parameter yang perlu diperhatikan pada suatu profil dosis diantaranya kesimetrian, kedataran, dan daerah penumbra, yaitu daerah pada profil dosis yang menerima dosis sebesar 80% sampai dengan dosis 20%. Batas toleransi yang

dibolehkan untuk kedataran kurva profil dosis adalah 3%, sedangkan batas toleransi daerah penumbra adalah 10 mm – 15 mm[7]. Dari Profil dosis yang diperoleh pada simulasi berkas elektron 10 MeV pada SSD 80 cm, dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan kesimetrian yang baik, untuk tingkat kedataran telah dihitung untuk masing masing ukuran jari-jari aplikator 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm yaitu 0.03 %, 0.01%, dan 0,04%. Lebar daerah penumbra untuk setiap jari-jari aplikator 2 cm, 3cm, 4 cm, dan 5 cm adalah 1,2 cm, 1,4 cm, 1,4 cm dan 1,4 cm.

Tabel 3. Hasil analisis kedataran/flatness dan lebar penumbra berkas untuk SSD 80 cm

Jari-jari aplikator	Flatness	Lebar penumbra
2 cm	0.03 %	1.2 cm
3 cm	0.01 %	1.4 cm
4 cm	0.01 %	1.4 cm
5 cm	0.04 %	1.4 cm



Gambar 26. Grafik profil dosis pada nilai PDD 100 cm

Profil dosis yang diperoleh pada simulasi berkas elektron 10 MeV pada SSD 100 cm, memiliki kesimetrian yang baik,

dengan tingkat kedataran 0.02%, 0.01%, % dan 0.1%. Lebar daerah penumbra yaitu 1.2 cm, 1.4 cm, 1.2 cm, dan 1.4 cm.

Tabel 4. Hasil analisis kedataran/flatness dan lebar penumbra berkas untuk SSD 100 cm

Jari-jari aplikator	Flatness	Lebar penumbra
2 cm	0.02 %	1.2 cm
3 cm	0.01 %	1.4 cm
4 cm	0.02 %	1.2 cm
5 cm	0.1 %	1.4 cm

Berdasarkan batas toleransi kedataran profil dan penumbra, profil dosis hasil simulasi berkas elektron 10 MeV pada SSD 80 cm dan 100 cm untuk ukuran jari-jari aplikator 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm telah menunjukkan hasil yang baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dari hasil penelitian simulasi berkas elektron pada linac konvensional yang dilengkapi dengan aplikator ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi berkas elektron pada linac konvensional yang dilengkapi dengan aplikator IORT didapatkan bahwa partikel elektron lebih dominan, semakin besar ukuran diameter aplikator diperoleh fluence yang semakin besar. Pada distribusi spektrum ditemukan kontaminasi bremsstrahlung sehingga dihasilkan spektrum foton pada energi 0.5 MeV. Pada distribusi angular berkas terhambur sebesar 10 derajat.
2. Kurva PDD hasil simulasi berkas elektron dalam phantom air menunjukkan bahwa jangkauan berkas elektron sekitar 5 cm untuk semua ukuran aplikator yang digunakan.
3. Profil dosis simulasi berkas elektron dalam phantom air menunjukkan kesimetrian yang baik, dengan kedataran (flatness) dibawah 3% dan daerah penumbra masih dalam rentang batas toleransi.

DAFTAR PUSTAKA

Eko Kuntjoro, 2001, Aplikasi Linear Akselerator di Bidang Kedokteran, Prosiding PPI Teknologi Akselerator dan Aplikasinya: Volume 3

Sudjatmoko, 2003. Perkembangan dan Pengembangan Teknologi Akselerator dan Pemanfaatannya, PTAPB-BATAN.

Anam, Choirul. 2010. Simulasi Monte Carlo untuk Kontaminasi Elektron Pada Berkas Sinar-X 6 MV Produksi Pesawat Linac Elekta SL15. Depok: Universitas Indonesia

Suharni. Kusminarto. Anggraita, P. 2013. Analisis Hasil Pengukuran Percentage Depth Dose (Pdd) Berkas Elektron Linac Elekta Rsup Dr. Sardjito. Hal: 84-88

Amalia, T. Kurniawan, B. 2004. Analisa Profil Berkas Elektron Pesawat Akselerator Linier Medik. Hal:132-147

Ihya, FN. Anam, C. Gunawan, V. Pembuatan Kurva Isodosis 2D Dengan Menggunakan Kurva Percentage Depth Dose (PDD) dan Profil Dosis dengan Variasi Kedalaman untuk Treatment Planning System. Indonesia Journal Vol.16 (4), Hal: 121-131

Subagiada, K. 2011. Pengaruh Source Skin Distance (SSD) Terhadap Profil Dosis Radiasi Pesawat Sinar-X. Vol.10 (1), Hal: 75-82