

## PENGARUH VARIASI AIR GAP TERHADAP DOSIS SERAP PENYINARAN BERKAS ELEKTRON PADA PESAWAT LINAC SIEMENS / PRIMUS M CLASS 5633

**Galih Puspa Saraswati, Eko Hidayanto, dan Evi Setiawati**

*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang*

*E-mail: galih\_puspa@rocketmail.com*

### ABSTRACT

*The effect of the variation of the air gap absorbed dose in electron beam irradiation has conducted. In the particular case of electron beam irradiation often can not use the SSD 100 cm due to the influence of the use of the applicator so that the patient's body should be granted an extension of the SSD or air gap at the irradiation. In this study the calculation of the effective SSD, absorbed dose, the air gap correction factor and verification of absorbed dose was performed using the inverse square law and the correction of the output electrons. The method utilized an inverse square law load value of each electron beam irradiation to determine the effective SSD, while the determination of absorbed dose and the air gap correction factor correction using electron output. The results of the calculation states that the effective SSD of 82,2 cm – 109 cm wide field size and is proportional to the electron energy. Absorbed dose and the air gap correction factor proportional to the field size and inversely proportional to the variation of the air gap while the value of the absorbed dose itself is varied between 64,80 cGy to 108,0 cGy as well as the value of the correction factor of the air gap is between 0,869 – 1,000. Correction dose verification of absorbed dose value is still below the value specified tolerances AAPM TG40 is equal to 99,10% - 103,0%. Variations of growing air gap causes the smaller absorbed dose.*

**Keywords:** *air gap, effective SSD, air gap correction factor, dose normalization*

### ABSTRAK

*Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi air gap terhadap dosis serap pada penyinaran berkas elektron. Pada kasus tertentu penyinaran berkas elektron sering kali tidak dapat menggunakan SSD 100 cm karena pengaruh penggunaan aplikator yang mengenai tubuh pasien sehingga harus dilakukan perpanjangan SSD atau diberikan air gap pada penyinaran tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan terhadap SSD efektif, dosis serap, faktor koreksi air gap dan verifikasi dosis serap dengan menggunakan metode hukum kuadrat terbalik dan koreksi output elektron. Metode hukum kuadrat terbalik memanfaatkan nilai muatan dari setiap penyinaran berkas elektron untuk menentukan SSD efektif, adapun penentuan dosis serap dan faktor koreksi air gap dengan menggunakan metode koreksi output elektron. Hasil perhitungan menyatakan bahwa SSD efektif sebesar 82,2 cm - 109 cm sebanding dengan luas lapangan dan energi elektron. Dosis serap dan faktor koreksi air gap sebanding dengan luas lapangan dan berbanding terbalik dengan variasi air gap sedangkan untuk nilai dari dosis serap sendiri variatif yaitu antara 64,80 cGy sampai 108,0 cGy begitu pula dengan nilai faktor koreksi air gap yaitu antara 0,869 - 1,000. Koreksi dosis pada verifikasi dosis serap nilainya masih di bawah nilai toleransi yang ditentukan AAPM TG40 yaitu sebesar 99,10% - 103,0%. Variasi air gap yang semakin besar menyebabkan dosis serap semakin kecil.*

**Kata kunci:** *air gap, SSD efektif, faktor koreksi air gap, normalisasi dosis*

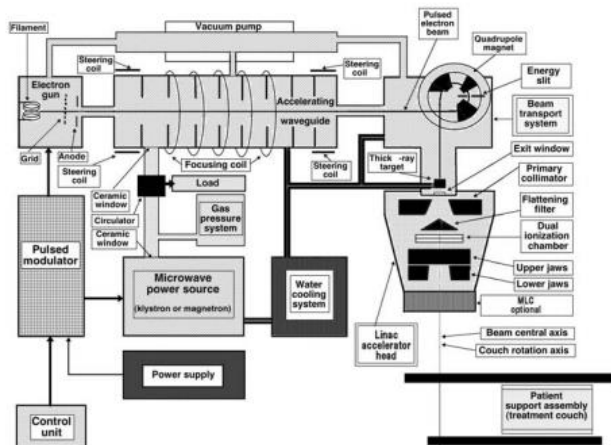
### PENDAHULUAN

Radioterapi dapat digunakan untuk meradiasi kanker primer dan gejala-gejala yang diakibatkan oleh kanker yang telah meluas yang disebut dengan metastasis<sup>[1]</sup>. Salah satu peralatan yang digunakan dalam radioterapi adalah pesawat Linac atau *Linear Accelerator*. *Linear Accelerator*

medik termasuk pesawat yang menghasilkan radiasi pengion energi tinggi dalam orde megavolt. Pesawat akselerator linier medik dapat menghasilkan berkas elektron atau berkas foton (sinar-x).

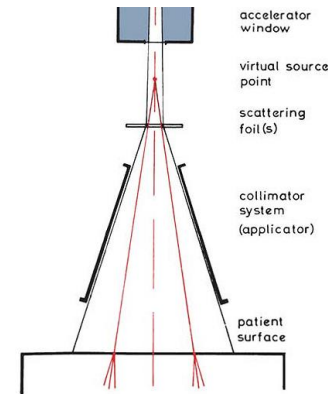
Dari gambar 1. terlihat konfigurasi pesawat *Linac* yang modern dan dapat dilihat juga

urutan proses produksi radiasi pada pesawat *Linac*. Pada saat pesawat dalam kondisi *switch on* pulsa-pulsa tegangan tinggi yang berasal dari modulator akan diteruskan ke magnetron dan *electron gun*. Pada magnetron timbul gelombang radio frekuensi yang kemudian akan diinjeksikan ke dalam akselerator, pada saat yang sama *electron gun* menjadi aktif dan menghasilkan elektron yang berenergi tinggi yang kemudian memasuki akselerator. Elektron ini akan terbawa oleh gelombang radio frekuensi dan akan dipercepat sebelum keluar dari *accelerator window* sebagai berkas radiasi foton. Apabila diinginkan berkas radiasi foton maka elektron berenergi tinggi tersebut akan ditumbukkan pada suatu target tertentu<sup>[2]</sup>.



Gambar 1. Bagian-bagian pesawat *Linac* yang modern<sup>[2]</sup>

Berbeda dengan berkas sinar-x, berkas elektron tidak berasal dari sumber yang fisik di bagian kepala akselerator. Berkas pensil elektron setelah melewati jendela vakum dari akselerator, medan radiasi magnetik, *scattering foil*, ruang *chamber* dan berinterferensi dengan udara maka berkas elektron tersebut akan menjadi berkas yang luas (menyebar) yang tampak menyimpang dari titik<sup>[3]</sup>. Titik ini disebut dengan sumber virtual (gambar 2.) yang didefinisikan sebagai titik persimpangan dari proyeksi balik sepanjang arah yang mungkin terjadi karena gerak dari elektron pada permukaan pasien.



Gambar 2. Definisi dari titik sumber virtual pada berkas elektron<sup>[3]</sup>

Sebagai metode alternatif dari koreksi dosis keluaran terhadap *air gap* antara kolimator elektron dengan pasien ditentukan melalui SSD efektif, yaitu dengan menggunakan hubungan hukum kuadrat terbalik dengan muatan. Koreksi ini dapat dilakukan dengan cara melakukan pengukuran muatan dengan menggunakan *phantom* pada kedalaman dosis maksimum ( $d_m$ ), dengan pengukuran yang pertama dilakukan pada SSD standar (*air gap* = 0) dan kemudian dilanjutkan dengan variasi *air gap* sampai dengan 20 cm dari bawah aplikator. Diasumsikan bahwa  $f$  = SSD efektif,  $Q_0$  = dosis pada *air gap* = 0,  $Q_g$  = dosis pada *air gap* =  $g$  antara SSD standar dengan permukaan *phantom*. Berikut persamaan yang memenuhi hukum kuadrat terbalik,

$$\frac{Q_0}{Q_g} = \left( \frac{f + d_m + g}{f + d_m} \right)^2 \quad (1)$$

atau

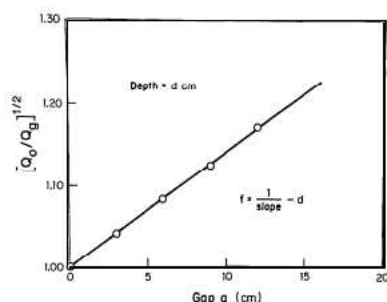
$$\sqrt{\frac{Q_0}{Q_g}} = \frac{g}{f + d_m} + 1 \quad (2)$$

Jika diplot grafik hubungan  $\sqrt{\frac{Q_0}{Q_g}}$  dengan  $g$  akan didapatkan grafik linier (gambar 3.) dengan nilai slope,

$$\frac{1}{f + d_m} \quad (3)$$

Sehingga didapatkan persamaan untuk SSD efektif<sup>[4]</sup>

$$SSD_{\text{eff}} = \frac{1}{\text{slope}} - d_m \quad (4)$$



**Gambar 3.** Penentuan SSD efektif dengan metode muatan<sup>[4]</sup>

Hubungan antara muatan pada SSD standar dan muatan pada perpanjangan SSD disebut dengan faktor koreksi. Terdapat dua metode untuk menentukan koreksi *output* yaitu dengan menggunakan SSD efektif atau SSD virtual. Pada metode SSD efektif dosis pada perpanjangan SSD disebut dengan  $D'_{\max}$  sedangkan dosis pada SSD normal disebut dengan  $D_{\max}$ . Adapun persamaannya mengikuti hukum kuadrat terbalik,

$$D'_{\max} = D_{\max} \frac{(SSD_{\text{eff}} + d_m)^2}{(SSD_{\text{eff}} + g + d_m)^2} \quad (5)$$

dimana  $SSD_{\text{eff}}$  adalah SSD yang telah ditentukan sebelumnya dengan menggunakan persamaan (4),  $g$  merupakan *air gap* yang diberikan dan  $d_m$  merupakan kedalaman maksimum pengukuran sesuai dengan tingkat energi yang digunakan. Sedangkan untuk metode SSD virtual digunakan persamaan,

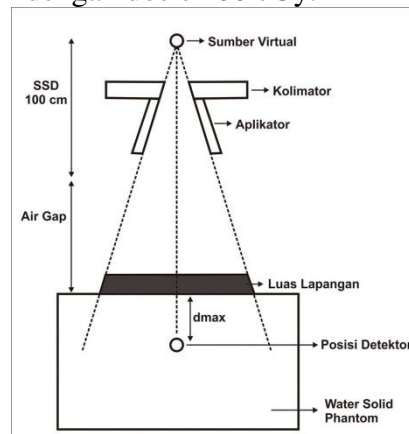
$$D'_{\max} = D_{\max} \frac{(SSD_{\text{vir}} + d_m)^2}{(SSD_{\text{vir}} + g + d_m)^2} f_{\text{air}} \quad (6)$$

dimana  $SSD_{\text{vir}}$  adalah SSD standar ditambah dengan *air gap* yang diberikan dan  $f_{\text{air}}$  merupakan faktor koreksi *air gap*<sup>[3]</sup>.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara pengukuran muatan dan dosis serap pada berkas elektron dengan variasi *air gap*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan pesawat *Linac* Siemens / Primus M Class 5633, *water solid phantom*, elektrometer, detektor PPC 40, barometer, termometer dan aplikator. Kondisi penyinaran dilakukan pada setiap tingkat energi elektron (5,7,8,10,12,14 MeV), dengan berbagai luas lapangan (10x10,15x15,20x20 cm<sup>2</sup>), variasi *air*

*gap* (0-20 cm) dan dilakukan pada kedalaman maksimum masing-masing tingkat energi elektron dengan dosis 100 cGy.



**Gambar 4.** Skema pengukuran muatan dan dosis serap pada *air gap* =  $g$

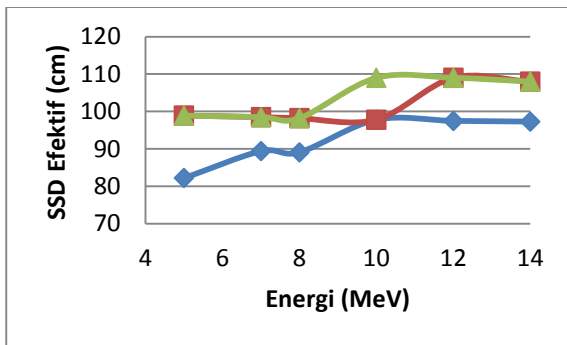
Setelah didapatkan data penelitian yang diinginkan selanjutnya dilakukan pengolahan data yang bertujuan untuk menghitung dan menganalisa parameter yang diinginkan. Data muatan digunakan untuk menentukan SSD efektif, dosis serap dan faktor koreksi *air gap* sedangkan data dosis serap untuk proses verifikasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil dan pembahasan akan dianalisa hasil penelitian yang telah dilakukan. Gambar grafik yang disajikan pada salah satu energi cukup mewakili grafik pada energi lain karena memiliki tren yang sama.

### Penentuan SSD Efektif

Pada gambar 5. terlihat terjadi beberapa kenaikan SSD efektif pada variasi energi dikarenakan setiap energi memiliki tingkat penetrasi yang berbeda-beda. Tingkat penetrasi ini berhubungan dengan penggunaan *scattering foil* pada pesawat *Linac*.



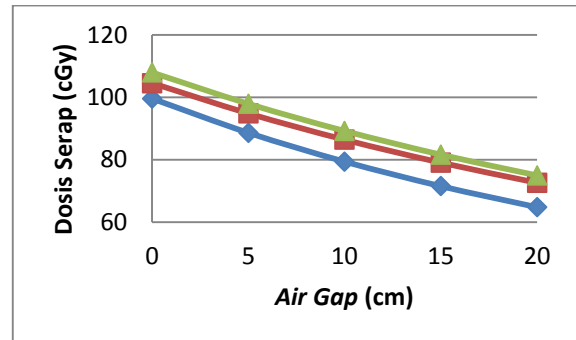
**Gambar 5.** Hubungan antara SSD efektif dengan energi pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> (biru), 15x15 cm<sup>2</sup> (coklat), 20x20 cm<sup>2</sup> (hijau)

Secara garis besar diketahui bahwa jenis dan ketebalan bahan *scattering foil* akan berpengaruh terhadap serapan intensitas elektron. Apabila bahan *scattering foil* menggunakan bahan yang memiliki massa relatif yang besar maka serapan yang dilakukan bahan tersebut akan lebih besar dibandingkan dengan bahan *scattering foil* yang menggunakan bahan dengan massa relatif yang kecil. Tidak hanya mengacu pada jenis bahan yang digunakan saja, serapan juga dipengaruhi pada ketebalan bahan, walaupun menggunakan jenis bahan yang sama ketebalan yang digunakan juga berpengaruh. Secara prinsip hampir sama dengan jenis bahan, semakin besar ketebalan yang digunakan maka bahan akan melakukan penyerapan yang lebih banyak dibandingkan dengan bahan yang memiliki ketebalan kecil. Selain energi yang berpengaruh terhadap SSD efektif, luas lapangan juga memberikan pengaruh yang cukup signifikan. Pada tiap energi dengan luas lapangan yang berbeda maka nilai SSD efektif akan berbeda, semakin besar luas lapangan penyinaran maka akan semakin besar pula SSD efektif, hal ini disebabkan karena semakin besar luas lapangan yang digunakan maka penetrasi yang dialami oleh elektron akan semakin lama sehingga jarak yang ditempuh elektron tersebut akan semakin jauh dan menyebabkan SSD efektif meningkat.

### Penentuan Dosis Serap

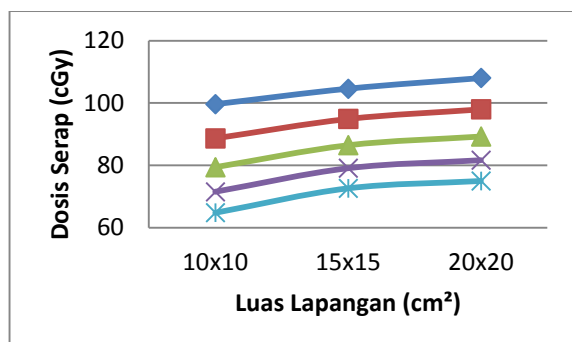
Perhitungan dosis serap ini bertujuan untuk menentukan dosis serap yang sampai pada kedalaman maksimum dengan memperhatikan variasi *air gap* sehingga pada perhitungan

memanfaatkan nilai SSD efektif yang didapatkan pada perhitungan sebelumnya.



**Gambar 6.** Hubungan dosis serap dengan *air gap* pada energi 5 MeV, 10x10 cm<sup>2</sup> (biru), 15x15 cm<sup>2</sup> (coklat), 20x20 cm<sup>2</sup> (hijau)

Dosis serap dipengaruhi oleh variasi *air gap* (gambar 6.), semakin panjang variasi *air gap* yang digunakan dalam penyinaran maka dosis serap akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan semakin besar *air gap* yang diberikan maka elektron akan semakin lama mengalami interaksi dengan udara sehingga elektron tersebut akan semakin kehilangan energi kinetiknya dan akhirnya pada saat sampai pada *phantom* hanya sedikit energi kinetik elektron yang mampu mengionisasi *phantom* tersebut. Atau dengan kata lain radiasi hambur yang terjadi akan menurun, karena radiasi hambur sebanding dengan dosis serap maka semakin kecil radiasi hambur yang terjadi akan semakin kecil pula dosis serap yang sampai pada kedalaman maksimum. Selain variasi *air gap* yang berpengaruh pada dosis serap ada juga luas lapangan penyinaran seperti yang terlihat pada gambar 7. Perubahan dosis serap terhadap dosis terlihat sebanding yaitu semakin besar luas lapangan penyinaran yang digunakan maka dosis serapnya juga semakin besar. Hal ini disebabkan juga oleh radiasi hambur, berbeda dengan pengaruh perpanjangan SSD yang berbanding terbalik dengan radiasi hambur pengaruh luas lapangan dengan radiasi hambur berbanding lurus.

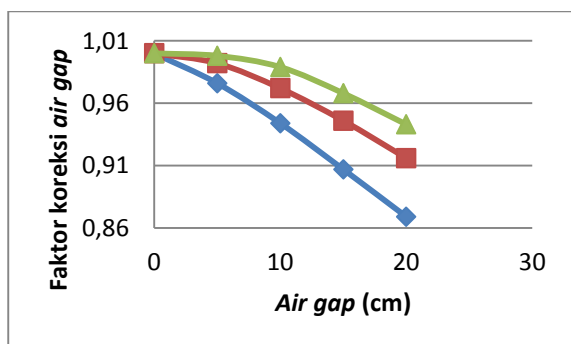


**Gambar 7.** Hubungan dosis serap dengan luas lapangan pada energi 5 MeV, gap 0 cm (biru), gap 5 cm (coklat), gap 10 cm (hijau), gap 15 cm (ungu), gap 20 cm (biru muda)

Sehingga semakin besar luas lapangan penyinaran yang digunakan maka akan semakin besar radiasi hambur yang terjadi karena semakin banyak elektron yang mampu mengionisasi phantom tersebut sehingga dosis serapnya akan semakin besar juga.

### Penentuan Faktor Koreksi Air Gap

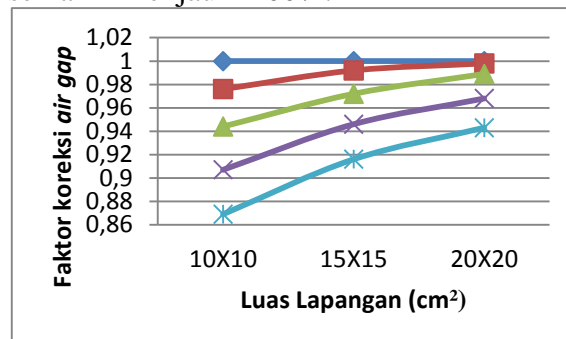
Faktor koreksi *air gap* dipengaruhi oleh variasi *air gap* (gambar 8.). Faktor koreksi *air gap* berbanding terbalik dengan besarnya *air gap* sehingga semakin besar *air gap* yang diberikan semakin kecil nilai faktor koreksi.



**Gambar 8** Hubungan faktor koreksi *air gap* dengan variasi *air gap* pada energi 5 MeV, 10x10 cm² (biru), 15x15 cm² (coklat), 20x20 cm² (hijau)

Pada dasarnya faktor koreksi *air gap* menunjukkan seberapa besar dosis serap yang sampai pada variasi *air gap* tersebut sehingga faktor koreksi *air gap* akan sebanding dengan nilai dosis serap, jika faktor koreksi *air gap* besar maka dosis serap yang sampai pun juga akan besar begitu sebaliknya. Apabila faktor koreksi *air gap* menunjukkan nilai satu berarti penyimpangan dosis serap yang terjadi kecil sehingga dosis serap yang sampai pada

kedalaman maksimum adalah 100% tetapi apabila tidak bernilai satu berarti penyimpangan dosis serap besar sehingga dosis serap yang sampai pada kedalaman maksimum semakin menjauhi 100%.



**Gambar 9.** Hubungan faktor koreksi *air gap* dengan luas lapangan pada energi 5 MeV, gap 0 cm (biru), gap 5 cm (coklat), gap 10 cm (hijau), gap 15 cm (ungu), gap 20 cm (biru muda)

Dari gambar 9. terlihat bahwa faktor koreksi *air gap* dipengaruhi juga oleh luas lapangan, faktor koreksi *air gap* semakin besar seiring dengan peningkatan luas lapangan. Faktor koreksi *air gap* berbanding lurus dengan besarnya luas lapangan sehingga semakin besar luas lapangan yang digunakan semakin besar nilai faktor koreksi. Sama dengan pada variasi *air gap* faktor koreksi *air gap* menunjukkan seberapa besar dosis serap yang sampai pada variasi luas lapangan tersebut sehingga faktor koreksi *air gap* akan sebanding dengan nilai dosis serap, karena pada gambar 7. menunjukkan semakin besar luas lapangan penyinaran yang digunakan akan semakin besar pula dosis serapnya maka jika faktor koreksi *air gap* besar maka dosis serap yang sampai pun juga akan besar dan sebaliknya.

### Penentuan Verifikasi Dosis

Verifikasi dosis serap adalah proses membandingkan nilai dosis serap antara hasil pengukuran langsung menggunakan detektor dengan hasil perhitungan secara analitik. Hasil verifikasi akan didapatkan seberapa besar koreksi dosis antara hasil pengukuran langsung dengan perhitungan. Sama seperti kalibrasi harian nilai toleransi untuk verifikasi dosis serap adalah  $\pm 3\%$ . Dari hasil perhitungan diketahui bahwa nilai koreksi dosis tidak ada

yang melebihi  $\pm 3\%$  yaitu sebesar 99,10-103%. Hal ini berarti bahwa metode yang digunakan dalam penelitian sudah layak untuk dijadikan sebagai acuan karena nilai dosis serap yang dihasilkan antara pengukuran langsung dengan perhitungan tidak jauh berbeda.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pengaruh variasi dapat disimpulkan bahwa :

1. Nilai SSD efektif yang didapatkan tergantung terhadap luas lapangan dan energi sebesar 82,2 cm sampai 109 cm. Pada tingkat energi yang sama SSD efektif sebanding dengan peningkatan luas lapangan, sedangkan untuk variasi energi terjadi perubahan SSD efektif yang kecil.
2. Hasil perhitungan dosis serap didapatkan nilai sebesar 64,80 cGy sampai 108,0 cGy tergantung oleh variasi *air gap* dan luas lapangan pada masing-masing tingkat energi. Dosis serap sebanding dengan luas lapangan dan berbanding terbalik dengan variasi *air gap*.
3. Hasil perhitungan faktor koreksi *air gap* didapatkan nilai 0,869 – 1,000 tergantung juga oleh variasi *air gap* dan luas lapangan pada masing-masing tingkat energi. Faktor koreksi *air gap* sebanding dengan luas lapangan dan berbanding terbalik dengan variasi *air gap*.
4. Perhitungan verifikasi pada dosis serap antara perhitungan dengan pengukuran langsung didapatkan nilai 99,10% - 103,0% nilai tersebut memiliki koreksi dosis kurang dari  $\leq 3\%$  sesuai dengan ketentuan pada AAPM TG40<sup>[5]</sup>.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Suhartono, Z, 1990, *Dosimetri Radioterapi*, Jakarta: PSPKR-BATAN.
- [2]. Podgorsak, E.B, 2005, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teacher and Students*, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA), hal 79-80;136-139.
- [3]. Khan, Faiz M, 2010, *The Physics of Radiation Therapy Fourth Edition*, University of Minnesota Medical School,

Minneapolis: Lippincott Williams & Wilkins, hal 143-144;273-274;280-284.  
 [4]. AAPM No.32, 1991, *Clinical Electron-Beam Dosimetry*, New York: Medical Physics, Vol.18.  
 [5]. AAPM TG40, 1994, *Linear Accelerator Quality Assurance*, New York: Medical Physics, Vol.21 (4).