

ANALISA KURVA PERCENTAGE DEPTH DOSE (PDD) DAN PROFILE DOSE UNTUK LAPANGAN RADIASI SIMETRI DAN ASIMETRI PADA LINEAR ACCELERATOR (LINAC) 6 DAN 10 MV

Mariatul Khiftiyah, Eko Hidayanto dan Zaenal Arifin

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

E-mail: mariatul42@gmail.com

ABSTRACT

External radiotherapy uses either symmetry or asymmetry radiation field. Percentage Depth Dose (PPD) and Dose Profile on either symmetry or asymmetry radiation field is an important parameter in conducting external therapy that is to analyze the result of parameters used for measurement, whether it is adjusted according to the specified tolerance limit. If the field size $10 \times 10 \text{ cm}^2$ is still in specified tolerance limit or it has been exceeding the limit.

The technique used to collect the data was comparing whether dose distribution taken on the surface of either symmetry or asymmetry radiation field with maximum depth gained from Percentage Depth Dose (PPD) measurement and in the depth of 2 cm. By using device Linear Accelerator (LINAC) energy foton 6 and 10 MV in the radiation field with condition field no off-set and off-set 1 cm, off-set 3 cm and off-set 5 cm with Source Surface Distance (SSD) value 100 cm and in radiation field $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

The measurement result showed a change depth on Percentage Depth Dose (PPD) value in the off-set of radiation field 5 cm, on both kinds of energy caused by beam hardening, with value of symmetry and flatness 1.43% and 9.28%, for energy 6 MV and 2.2%, 6.59% for energy 10 MV. There was a change in file profile that caused declining value of flatness, and symmetry. Dose distribution because of this asymmetry radiation field should be concerned in clinical for application of asymmetry radiation field usage.

Keywords: Percentage Depth Dose (PDD), Profile Dose, Symmetry, Asymmetry, flatness.

ABSTRAK

Radioterapi eksterna menggunakan lapangan penyinaran radiasi simetri maupun asimetri. Percentage Depth Dose (PDD) dan Dose Profile pada lapangan radiasi simetri maupun asimetri merupakan parameter penting dalam melakukan terapi eksterna untuk menganalisa hasil dari parameter - parameter yang digunakan untuk pengukuran apakah sesuai dengan batas toleransi yang ditentukan. Dengan luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ apakah masih dalam batas toleransi yang ditentukan atau sudah melebihi batas.

Teknik yang digunakan untuk pengambilan data yaitu dengan membandingkan distribusi dosis yang diterima oleh permukaan pada lapangan simetri maupun asimetri dengan kedalaman maksimum yang diperoleh dari pengukuran Percentage Depth Dose (PDD) dan pada kedalaman 2 cm. Menggunakan pesawat Linear Accelerator (LINAC) energi foton 6 dan 10 MV dengan lapangan penyinaran radiasi no off-set, dan off-set 1 cm, off-set 3 cm dan off-set 5 cm dengan Source Surface Distance (SSD) 100 cm dan pada lapangan penyinaran radiasi $10 \times 10 \text{ cm}^2$.

Hasil pengukuran menunjukkan terjadi perubahan nilai kedalaman Percentage Depth Dose (PDD) pada off-set lapangan penyinaran 5 cm, pada kedua energi hal ini disebabkan karena adanya beam hardening dengan nilai symmetry dan flatness sebesar 1.43% dan 9.28%, untuk energi 6 MV dan 2.2% dan 6.59% untuk energi 10 MV. Untuk profil berkas juga mengalami perubahan yang mengakibatkan terjadinya penurunan nilai flatness, dan symmetry. Distribusi dosis akibat pembentukan lapangan asimetris ini harus diperhatikan dalam aplikasi klinis pada penggunaan lapangan penyinaran asimetris.

Kata kunci: Percentage Depth Dose (PDD), Profile Dose, Simetri, Asimetri, flatness.

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan salah satu terapi eksterna untuk penyembuhan penyakit kanker dengan memanfaatkan radiasi sebagai sumber terapi. Dengan memperhatikan aspek – aspek biologi dari tubuh pasien yang akan disinari menggunakan radiasi maka diperlukan pengetahuan mengenai distribusi dosis yang akan diterima oleh pasien tersebut dan pada kedalaman maksimum yang diinginkan.

Untuk mengetahui distribusi dosis dan kedalaman maksimum yang akan diterima pada tubuh pasien tersebut maka digunakanlah kurva *profile dose* dan *percentage depth dose*. Serta untuk pelaksanaan terapi hal yang perlu diperhatikan yaitu lapangan yang digunakan pada saat terapi sesuai dengan letak dari target yang akan dikenai radiasi.

Lapangan penyinaran radiasi yang biasa digunakan sesuai dengan letak target dapat berupa lapangan penyinaran persegi, persegi panjang, dan tidak beraturan [1]. Hasil pengukuran *profile dose* dan *percentage depth dose* memperlihatkan bahwa untuk lapangan radiasi asimetri mengalami degradasi jika dibandingkan dengan lapangan radiasi simetri yaitu sebesar 5% [2].

Selain itu parameter yang digunakan untuk mengetahui distribusi dosis pada suatu lapangan penyinaran radiasi yaitu terdiri dari *symmetry*, *flatness*, dan *penumbra* [3].

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa antara hasil dari *symmetry*, *flatness*, dan *penumbra* yang diperoleh dari kurva *Profile Dose* pada bidang simetri dan asimetri pada energi foton 6 dan 10 MV, serta membandingkan nilai D_{max} dari PDD pada masing-masing lapangan dan energi sesuai dengan toleransi yang diperbolehkan *International Commission on Radiation Units (ICRU) Report 50,1993* [4].

DASAR TEORI

Linear Accelerator

Linear accelerator (linac) merupakan seperangkat peralatan pemercepat yang dapat

mempercepat elektron hingga memiliki energi kinetik 4 s.d 25 MeV menggunakan medan magnet non-konservatif dari radio frekuensi gelombang mikro dengan rentang frekuensi dari 1000 MHz (L band) hingga 10000 MHz (X band), dengan mayoritas berada pada 2856 MHz. Pada pesawat *linac* elektron dipercepat mengikuti sebuah lintasan lurus pada sebuah *accelerating wave guide*. Medan radio frekuensi digunakan untuk mempercepat elektron di dalam *accelerator tube* yang biasanya berasal dari magnetron atau klystron [5].

Linac dapat menghasilkan berkas sinar-X kualitas tinggi (Mega-Volt). Dengan sinar-X kualitas tinggi optimasi dosis pada terapi kanker dapat dicapai karena radiasi pion energi tinggi bisa memberikan dosis radiasi yang besar untuk didistribusikan ke jaringan kanker dan menurunkan efek negatif terhadap jaringan normal. Untuk mencapai tujuan radioterapi itulah pesawat LINAC semakin banyak digunakan dalam radioterapi.

Komponen penting penunjang LINAC antara lain adalah sistem pendingin, temperatur untuk komponen LINAC, misalnya untuk *bending magnet*. Sistem pompa vakum ion untuk menghasikan vakum untuk pemercepat elektron, sistem pengatur tekanan udara dan sistem gas [6].

Percentage Depth Dose (PDD)

PDD merupakan distribusi dosis yang berada pada titik di sumbu utama berkas di dalam fantom biasanya dinormalisasi ke $D_{max} = 100\%$ pada kedalaman dosis maksimum D_{max} [5].

Dengan persamaan yang digunakan untuk mencari PDD yaitu :

$$PDD = \frac{D_d}{D_{do}} \times 100\% \quad (2.1)$$

D_d = Dosis pada sembarang titik (%)

D_{do} = Dosis maksimum (%)

Profile Dose

Profile dose bisa juga dikatakan sebagai kurva yang menunjukkan bentuk muka sinar

pada sumbu horizontal yang tegak lurus dari arah datangnya sinar. Profil berkas radiasi merupakan intensitas relatif pada bidang tegak lurus sumbu berkas. Profil berkas radiasi yang menggambarkan pengukuran relatif akan sangat bervariasi sesuai dengan kedalaman [3].

Adapun parameter dari profile dose adalah sebagai berikut:

a. *Flatness* (Kedataran)

Flatness pada *Profile Dose* ditentukan pada daerah 80 % dari FWHM (*Full Width half Maximum*) dari kurva dan data. Dengan menggunakan persamaan :

$$F = \frac{M-m}{M+m} \times 100 \% \quad (2.2)$$

M = Dosis maksimum pada daerah 80 %

m = Dosis minimum pada daerah 80 %

b. *Symmetry* (Keseragaman Berkas)

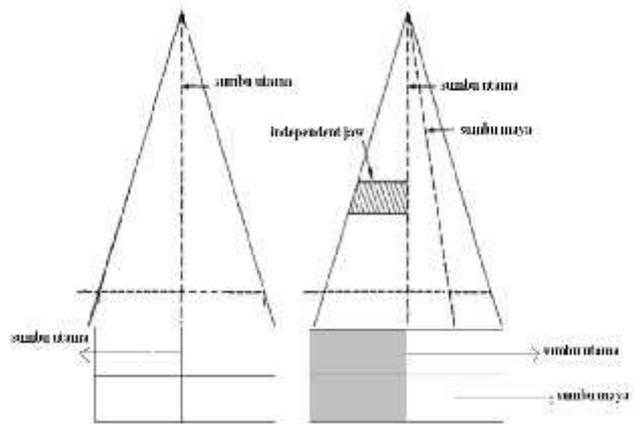
Simetri sering didefinisikan sebagai persentase deviasi maksimum yang diijinkan dari sisi kiri dosis maupun sisi kanan dosis profil, sering pada 80% dari titik FWHM (*Full Width half Maximum*). *Symmetry* ditentukan dan simetri kemudian dihitung pada persamaan 2.3 berikut:

$$S = 100 \times \frac{\text{Area left} - \text{Area right}}{\text{Area left} + \text{Area right}} \quad (2.3)$$

c. *Penumbra*

Penumbra merupakan parameter keseragaman profil berkas radiasi yang didefinisikan sebagai daerah pada profil yang menerima dosis antara 80 % dan 20% dari sumbu utama dengan toleransi 10 mm – 15 mm [3].

Lapangan Penyinaran



Gambar 1. Lapangan Simetri dan Asimetri

Kolimimator sekunder digunakan untuk membentuk lapangan penyinaran. Kolimimator ini terbuat dari blok timbal (Pb) yang digunakan untuk mengatenuasi radiasi di luar lapangan penyinaran yang diinginkan. Kolimimator sekunder terdiri dari dua pasang kolimimator dimana salah satu pasangan kolimimator ini berada di bawah pasangan yang lain. Pasangan kolimimator lebih dekat dengan target disebut kolimimator atas (*upper collimators*) dan sebagai pengatur lapangan arah Y, sedangkan pasangan kolimimator yang lain (lebih dekat ke permukaan pasien) disebut dengan kolimimator bawah (*lower collimators*) dan digunakan untuk mengatur lapangan arah X.

Lapangan simetris (X x Y) cm², yang menunjukkan setiap kolimimator X diatur membuka dengan jarak X/2 dari sumbu utama berkas, demikian pula bukaan yang sama untuk kolimimator Y. Pembentukan lapangan asimetris menggunakan empat pergerakan dari masing - masing kolimimator [6].

METODE PENELITIAN

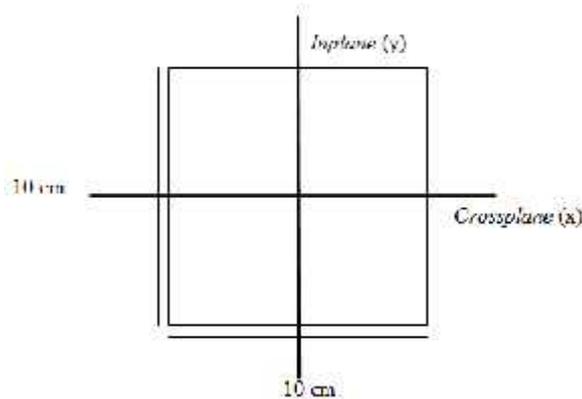
A. *Alat dan Bahan*

Alat yang digunakan merupakan pesawat *Linear Accelerator* Elekta Precise 5991 dengan energi yang dihasilkan yaitu energi elektron dan energi foton. Dengan hasil keluaran energi elektron 4, 6, 8, 10, 12, 15 MeV, serta 6 dan 10 MV untuk keluaran energi

foton. Serta *water phantom*, detektor *Condensor Chamber*, software *Mephysto* MCC-PTW, kabel koaksial, serta *Computer Control Unit (CCU)*.

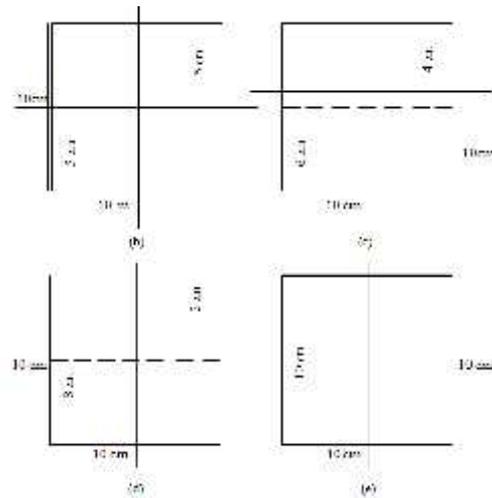
B. Prosedur Penelitian

Pengaturan yang dilakukan adalah merangkai seluruh peralatan yang telah dipersiapkan dan terhubung dengan komputer yang digunakan untuk melihat hasil dari pengambilan data serta dengan mengatur *Source Surface Distance (SSD)* dengan jarak 100 cm, serta pengaturan lapangan penyinaran sebesar 10 x 10 cm² dan peletakan detektor di dalam air dan di udara yang digunakan untuk memperoleh nilai dosis relatif yang akan ditampilkan pada layar komputer.



Gambar 2. Skema Lapangan Penyinaran

Pengambilan data pertama yaitu nilai PDD dengan lapangan radiasi *no off-set*, *off-set* 1 cm, 3 cm, dan 5 cm dengan energi foton 6 MV, dan di catat nilai D_{max} yang akan digunakan untuk mencari nilai *profile dose* pada kedalaman maksimum dengan pengaturan yang sama dilakukan pula untuk energi 10 MV. Setelah diperoleh selanjutnya pengambilan data untuk nilai *profile dose* pada kedalaman maksimum dan selanjutnya pada kedalaman 2 cm untuk dicari nilai *symmetry*, *flatness*, dan *penumbra*. Dengan skema dari masing – masing lapangan penyinaran yang digunakan adalah sebagai berikut :



Gambar 3. Skema Lapangan Penyinaran (a) *no off-set* (b) *off-set* 1 cm (c) *off-set* 3 cm (d) *off-set* 5 cm

Berdasarkan hasil dari pengambilan data maka penelitian ini akan menghasilkan kurva PDD untuk mengetahui nilai dari D_{max} pada masing – masing lapangan serta distribusi dosis yang akan diterima pada D_{max} dan 2 cm dalam bentuk kurva *profile dose* dengan arah *crossline*.

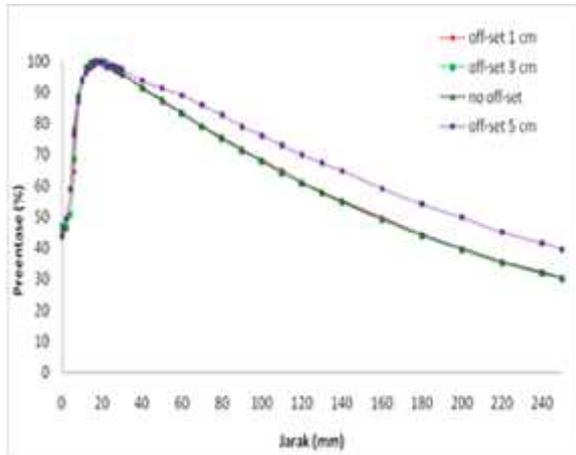
Dari kurva dan data yang diperoleh untuk PDD dan *profile dose* yang ditunjukkan dengan D_{max} atau pada suatu keadaan dimana dosis yang diterima adalah dosis maksimum yang diterima pada suatu lapangan penyinaran kemudian dianalisa untuk hasil dari toleransi pada parameter – parameter *profile dose* yang terdiri dari *symmetry* \pm 3% serta untuk *flatness* \pm 2%, sedangkan untuk PDD sebesar \pm 3% yaitu 97% sampai 103% [4].

HASIL DAN PEMBAHASAN

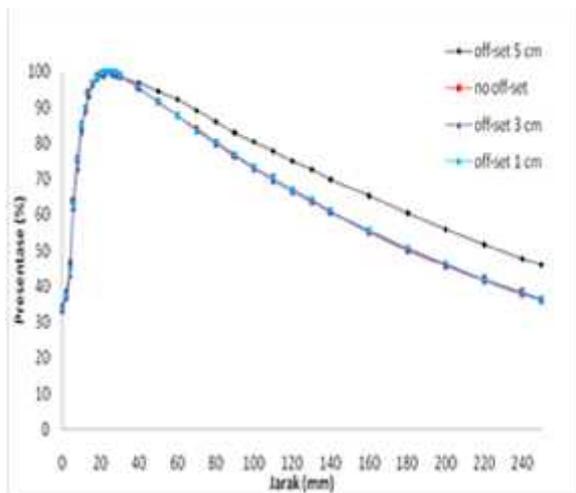
Pengukuran PDD Energi 6 dan 10 MV

Hasil dari pengukuran PDD menggunakan energi foton 6 MV dengan lapangan 10 x 10 cm² dengan lapangan *no off-set*, *off-set* 1 cm, *off-set* 3 cm dan *off-set* 5 cm. Kurva dari PDD energi 6 dan 10 MV pada semua bentuk lapangan dapat dilihat pada gambar 4 dan 5. Pada gambar nampak terlihat terjadi perbedaan

untuk lapangan dengan *off-set* 5 cm karena adanya *beam hardening* yaitu penguatan berkas karena adanya hamburan yang diakibatkan oleh *focal spot* yang berada jauh dari sumber radiasi.



Gambar 4. PDD Energi 6 MV



Gambar 5. PDD Energi 10 MV

Dengan adanya *beam hardening* maka nilai dari D_{max} yang dihasilkan dari masing-masing bentuk lapangan berbeda. Untuk hasil dari masing-masing kedalaman maksimum pada energi 6 dan 10 MV dapat diperlihatkan pada table 1.

Tabel 1. D_{max} Energi 6 dan 10 MV

Off-set (cm)	D_{max} (cm)	D_{max} (cm)
No off-set	1.6	2.4
Off-set 1	1.8	2.6
Off-set 3	1.8	2.4
Off-set 5	2.0	2.8

Pada masing-masing bentuk lapangan memiliki nilai PDD yang berbeda-beda, hanya saja pada *off-set* 1 dan 3 cm memiliki nilai D_{max} yang sama. Nilai D_{max} fluktuatif, sehingga nilai dari D_{max} tidak dapat diprediksikan, namun nilai D_{max} pada tiap energi berbeda-beda.

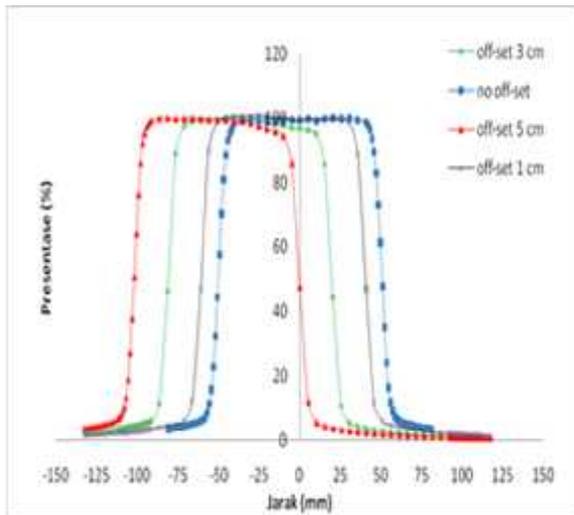
Pada dasarnya nilai dari D_{max} PDD hanya digunakan untuk mengetahui dosis yang akan diterima 100% pada kedalaman tertentu.

Pengukuran *Profile Dose* 6 dan 10 MV

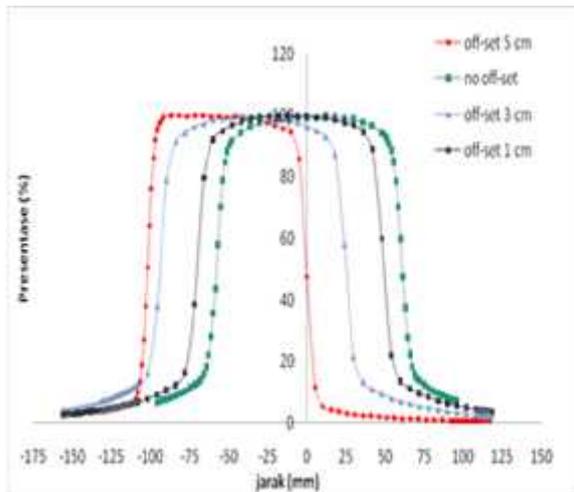
Profile dose merupakan salah satu kurva yang digunakan untuk mengetahui distribusi dosis yang diterima pada target dengan kedalaman tertentu. Dibutuhkan ketepatan dosis pada saat melakukan penembakan ke target agar dosis yang diterima pada target maksimal sesuai dengan yang sudah direncanakan sebelum menjalani terapi.

Dalam *profile dose* terdapat tiga parameter yang harus diperhatikan yaitu *symmetry*, *flatness*, dan *penumbra*. Dari ketiga parameter tersebut memiliki nilai batas toleransi yang berbeda untuk nilai *symmetry* yaitu $\pm 3\%$ sedangkan untuk *flatness* batas toleransi yang diperbolehkan yaitu $\pm 2\%$.

Hasil dari *profile dose* yang diperoleh dari pengukuran pada D_{max} dan 2 cm serta pada berbagai bentuk lapangan yang telah dilakukan pada saat pengambilan data untuk PDD. Kurva *profile dose* energi 6 MV dapat diperlihatkan pada gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Profile Dose Pada D_{max} Energi 6 MV

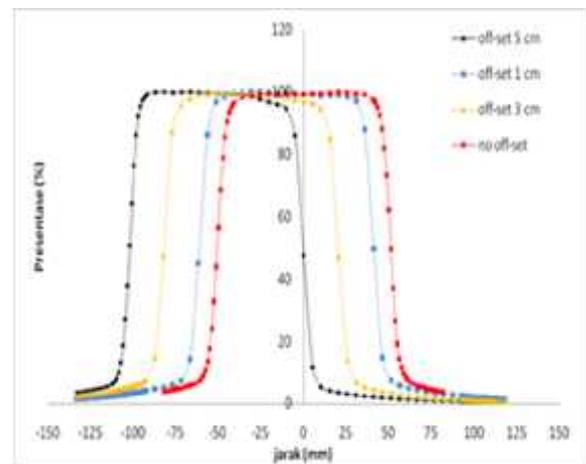


Gambar 7. Profile Dose Pada $D = 2$ cm Energi 6 MV

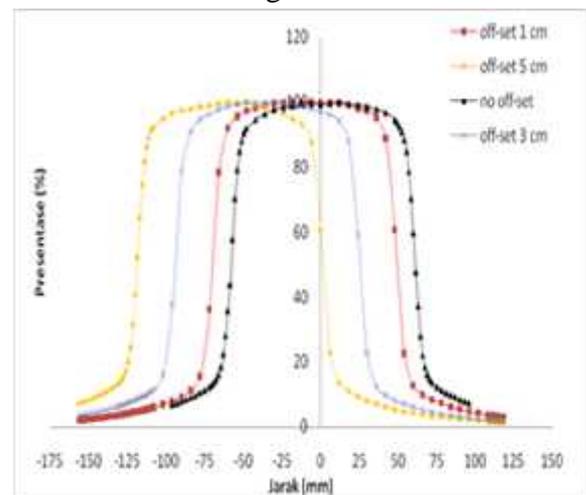
Untuk mengetahui hasil dari parameter-parameter yang digunakan pada *profile dose* dapat dilihat pada tabel 2 yang menampilkan parameter dari profile dose untuk energi 6 MV pada D_{max} dan $D = 2$ cm. Pada dasarnya nilai kesimetrisan pada semua lapangan tidak lebih dari batas toleransi yang ditentukan yaitu sekitar kurang lebih 3%. Namun pada nilai *symmetry* hanya pada lapangan 10×10 cm² *no off-set*, dan pada lapangan 10×10 cm² dengan *off-set 1 cm* yang dalam keadaan baik yaitu 1.78% dan 2.46%. Sedangkan untuk nilai *flatness* yang diperbolehkan hanya pada lapangan 10×10 cm² dengan *no off-set* yaitu

sebesar 1.78%. Untuk lapangan *no off-set* distribusi dosis yang diterima 100% pada jarak 2 – 3 cm, sedangkan pada *off-set 1 cm* dosis maksimum maju pada jarak (-4.5) – (-1) cm begitu juga pada *off-set 3 cm* dan 5 cm yang maju pada jarak -3.5 cm dan -8.1 cm. Dari gambar profil dosis sinar-X tersebut dapat dilihat bahwa dosis akan menurun dengan meningkatnya kedalaman.

Sedangkan hasil yang diperoleh pada energi 10 MV dapat diperlihatkan pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Profile Dose Pada D_{max} Energi 10 MV



Gambar 7. Profile Dose Pada $D = 2$ cm Energi 10 MV

Hasil ini diperlihatkan pada tabel 3 yang memperlihatkan hasil dari parameter – parameter profil dosis. Untuk *symmetry* nilai yang diperoleh dari pengukuran tidak melewati

toleransi yang diperbolehkan baik *no off-set*, maupun *off-set* 1 cm, *off-set* 3 cm dan *off-set* 5 cm sebesar 2.05%, 1.29%, 2.86% dan 2.20%. Dengan nilai dosis maksimum 100% pada semua keadaan *no off-set*, dan *off-set* 1 cm, *off-set* 3 cm, dan *off-set* 5 cm dengan nilai berturut - turut adalah 2 cm, (-3) – (-2.5) cm, (-4) cm dan (-4) cm untuk kedalaman maksimum.

Pada energi 10 MV nilai dari *flatness* di semua lapangan baik simetri maupun lapangan asimetri memiliki nilai yang sangat besar sekali penyimpangannya, meskipun belum sampai pada batas toleransi yang telah ditetapkan.

Tabel 2. *Profile Dose* Energi 6 MV

Tabel 2. *Profile Dose* Energi 6 MV

Kedalaman (cm)	<i>Off-set</i> (cm)	Simetri (%)	<i>Flatness</i> (%)	<i>Penumbra</i>	
				Kanan (mm)	Kiri (mm)
Dmax	<i>no off-set</i>	3.20	1.78	6.57	6.65
	1	1.09	2.46	7.89	7.84
	3	2.86	4.91	7.76	7.81
	5	1.43	9.28	12.16	10.16
2	<i>no off-set</i>	8.16	7.80	10.07	10.03
	1	1.10	7.65	11.64	11.15
	3	1.04	8.84	11.60	11.41
	5	5.11	5.91	8.19	6.62

Tabel 3. *Profile Dose* Energi 10 MV

Kedalaman (cm)	<i>Off-set</i> (cm)	Simetri (%)	<i>Flatness</i> (%)	<i>Penumbra</i>	
				Kanan (mm)	Kiri (mm)
Dmax	<i>no off-set</i>	2.05	3.58	7.18	7.32
	1	1.29	3.19	8.39	8.48
	3	2.86	4.91	11.86	11.52
	5	2.20	6.59	8.70	7.49
2	<i>no off-set</i>	9.95	7.43	10.19	10.23
	1	1.23	7.50	11.66	11.41
	3	2.23	5.53	8.59	8.46
	5	2.27	9.60	11.84	10.56

Penyimpangan terbesar terjadi pada lapangan radiasi asimetri dengan *off-set* 3 cm yaitu sebesar 4.91 % dengan titik dosis maksimum pada jarak -3 cm, kemudian pada lapangan dengan *off-set* 5 cm yaitu sebesar 6.59% dengan dosis maksimum jarak – 6 cm yang semakin menjauhi *focal spot* yang mengakibatkan nilai parameter semakin turun.

Sedangkan untuk nilai *penumbra* dari semua lapangan dengan kedua energi yang digunakan dalam keadaan sesuai dengan batas toleransi yang diperbolehkan sebesar 10 mm – 15 mm.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Nilai PDD hasil pengukuran $10 \times 10 \text{ cm}^2$ *no off-set* dan *off-set* 1 cm, *off-set* 3 cm dan *off-set* 5 cm untuk kedalaman maksimum energi 6 MV berturut-turut 1.6 cm, 1.8 cm, 1.8 cm dan 2 cm serta pada energi 10 MV berturut – turut 2.4 cm, 2.6 cm, 2.4 cm dan 2.8 cm.
2. Untuk kedalaman maksimum nilai yang diperoleh pada lapangan simetri maupun pada lapangan asimetri untuk energi 6 dan 10 MV nilai yang paling banyak menyimpang dari batas toleransi yaitu pada lapangan penyinaran radiasi $10 \times 10 \text{ cm}^2$ *off-set* 5 cm dengan nilai *flatness*, *symmetry* dan *penumbra* berturut – turut untuk energi 6 MV 9.28%, 1.43%, dan 19.0% sedangkan untuk energi 10 MV sebesar 6.59%, 2.2%, dan 13.5% sesuai dengan jarak yaitu yang berjarak -8 cm dan -6 cm dari *focal spot*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Nazaroh, Sunaryati. S.,I., dan Nurman Rajagukguk, *Seminar Keselamatan Nuklir 2 – 3 Agustus 2006, Penerapan Jaminan Kualitas Untuk Radioterapi*, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, F. M.. 2003. *The Physics of Radiation Therapy 2nd edition*. Baltimore, Maryland, USA: Lippincott Williams and Wilkins
- [2]. Yudi, K. S. P., *Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VI Jakarta, 15-16 Juni 2010, Profil Berkas Sinar – X Lapangan Simetris Dan Asimetris Pada Pesawat LINAC Siemens Primus 2D Plus*, Jakarta : Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN, KEMENKES-RI.
- [3]. Nath, R., 1994. *AAPM code of Practice for Radiotherapy Accelerator*, No. 47., U.S.A: American Association of Physicist in Medicine.
- [4]. Chairman, A.A., 1993, *International Commission on Radiation Units (ICRU) Report 50, Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy*, Maryland.U.S.A : ICRU Publications.
- [5]. Podgorsak, E. B., 2005, *Eksternal Photon Beams : Physical Aspect in Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, International Atomic Energy Agency, Vienna : Publishing Section IAEA.
- [6]. Turner.,C., 1998, *Medical Linear Accelerator Dynamic Wedge Factors For Asymmetric Radiation Fields*, Project Report Bachelor of Science in Medical Physics, University of NSW