



Analisis Efek Dosimetri dan Jarak dari Penggabungan Lapangan Foton 6 MV dan Lapangan Elektron 8 MeV pada Terapi *Ca Mammae*

Silamai Tya Mariani Famani^{1,2)}, Giner Maslebu^{1,*)}, Suryasatriya Trihandaru¹⁾, Mohamad Hidayatullah³⁾

¹⁾Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika
Universitas Kristen Satya Wacana

²⁾Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika
Universitas Kristen Satya Wacana

³⁾Rumah Sakit Ken Saras, Jl. Soekarno Hatta KM 29, Bergas, Karang Jati, Ungaran,
Kabupaten Semarang

Email korespondensi : giner.maslebu@staff.uksw.edu

Submitted 07 Januari 2018, accepted 28 September 2018

ABSTRAK—Penjumlahan dosis radiasi pada lapangan foton dan elektron menyebabkan terjadi kelebihan dosis (*hot spot*) di sisi lapangan foton dan kekurangan dosis (*cold spot*) di sisi lapangan elektron. Untuk itu, penelitian mengenai pengaruh jarak (*gap*) lapangan foton dan elektron terhadap distribusi dosis radiasi telah dilakukan dengan melakukan pengukuran dan perhitungan dosis radiasi serap dengan analisis menggunakan *Dose – Volume Histogram (DVH)* pada tahap *Treatment Planning System (TPS)*. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *water solid phantom* yang dipindai dengan detektor PTW (*2D Array*) menggunakan CT Simulator. Hasil pemindaian kemudian dikirim ke komputer TPS untuk dibuatkan variasi lapangan foton dan elektron dengan jarak antar lapangan 0 – 5 mm pada kedalaman tertentu dengan SSD 95 cm, 97,5 cm, 100 cm, 102,5 cm, dan 105 cm sehingga didapatkan distribusi dosis yang dapat dilihat pada DVH. Hasil analisis distribusi dosis pada DVH menunjukkan distribusi dosis yang menunjukkan keseragaman dosis antar dosis maksimum dan dosis minimum berturut-turut 7,5% dan -6,4% yaitu pada SSD 95 cm dan 97,5 cm dengan jarak (*gap*) antara lapangan foton dan elektron 3 mm. Namun secara klinis, SSD yang direkomendasikan untuk digunakan pada *treatment*, yaitu SSD 97,5 cm dengan jarak (*gap*) antar lapangan 3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa jarak (*gap*) antara lapangan foton dan elektron mempengaruhi distribusi dosis berkas foton dan elektron.

Kata Kunci : *Dose – Volume Histogram (DVH)*, jarak (*gap*) lapangan radiasi foton dan elektron, *Treatment Planning System (TPS)*

I. PENDAHULUAN

Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia menyebutkan bahwa penyakit kanker merupakan salah satu penyebab kematian utama di seluruh dunia dan pada tahun 2012, sekitar 8,2 juta kematian disebabkan oleh kanker. Kanker paru, hati, perut, kolorektal, dan kanker payudara adalah penyebab terbesar kematian akibat kanker setiap tahunnya.

Radioterapi adalah pengobatan penyakit terutama tumor atau kanker ganas dengan menggunakan radiasi elektromagnetik (Sinar-X dan Gamma) dan radiasi partikel (elektron, proton, dan neutron).

Dalam radioterapi dilakukan pengukuran, perhitungan, dan penilaian dosis radiasi yang diserap oleh tubuh manusia (*radiation dosimetry*), baik secara internal karena

zat radioaktif yang tertelan atau yang terhirup, atau secara eksternal karena radiasi oleh sumber radiasi. Hal ini untuk mengontrol efek dosimetri yang mungkin memberikan efek berarti terhadap jaringan normal lainnya.

Linear Accelerator (LINAC) merupakan sebuah perangkat/alat yang menggunakan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron berenergi tinggi melalui tabung linear (Alatas et al. 2009). Selain berkas sinar elektron, LINAC juga menghasilkan berkas foton.

Elektron adalah partikel bermuatan dengan jangkauan yang terbatas sehingga cocok untuk pengobatan pada target dangkal (Dieterich et al. 2016). Sedangkan berkas sinar foton biasa digunakan untuk penyinaran pada kanker yang terletak pada kedalaman tertentu. Penyinaran dengan menggunakan radiasi foton jarang digunakan untuk *treatment* tumor pada kedalaman yang dangkal. Penyinaran kanker pada kulit dengan menggunakan lapangan radiasi foton tunggal yang mana terbatas pada kedalaman beberapa milimeter, hanya digunakan pada kasus yang langka yang mana kombinasi penyinaran sulit dilakukan secara teknis atau menghasilkan iradiasi jaringan normal yang tidak perlu atau berlebihan, sehingga dapat menggunakan beberapa lapangan radiasi dengan melakukan variasi, menghitung, dan memeriksa berbagai rencana untuk memilih salah satu yang secara klinis lebih unggul (Khan et al. 2014).

Sering ditemukan penyinaran kanker dengan menggunakan lapangan radiasi dengan berkas sinar yang berbeda. Contoh kanker yang biasa menggunakan kedua berkas (foton dan elektron) yaitu kanker pada leher. Lapangan foton digunakan untuk mengobati bagian anterior dan lapangan elektron digunakan untuk mengobati bagian posterior dari leher (Khan et al. 2014).

Ketika dua lapangan radiasi yang berdekatan dijumlahkan, terdapat dosis yang

berlebih. Selain itu, saat lapangan radiasi dipisahkan, terjadi kekurangan dosis pada tumor. Pada situasi klinis, keputusan untuk menjumlahkan atau memisahkan lapangan radiasi bergantung pada keseragaman distribusi gabungan di seluruh volume target. Kelebihan dosis dapat diterima dengan melihat besar, luas, dan lokasi dimana terjadi kelebihan dosis. Ketika lapangan foton dijumlahkan dengan lapangan elektron di permukaan, terjadi kelebihan dosis di sisi lapangan foton dan terjadi kekurangan dosis di sisi lapangan elektron yang disebabkan oleh hamburan dari lapangan electron (Khan et al. 2014).

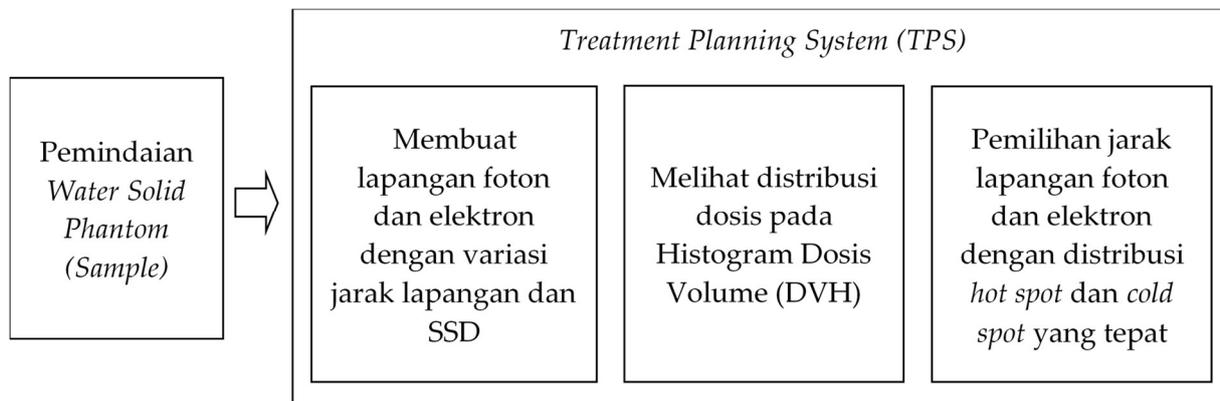
Beberapa penelitian (Johnson et al. 1994, Steel et al. 2007, Sun et al. 1998, Karlsson et al. 1993, Kemikler et al. 2006), menunjukkan bahwa sangat perlu diadakan penelitian mengenai pengaruh jarak lapangan foton dan elektron terhadap distribusi dosis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis jarak antara lapangan berkas sinar foton dan elektron untuk menemukan jarak lapangan penyinaran yang dapat mengurangi dosis pada lapangan foton yang terjadi *hot spot* dan menambah dosis pada lapangan elektron yang terjadi *cold spot*. Penelitian ini juga bertujuan untuk membantu pekerja radiasi dalam melakukan *treatment* pada kanker yang menggunakan dua lapangan penyinaran menggunakan berkas foton dan elektron.

II. METODE PENELITIAN

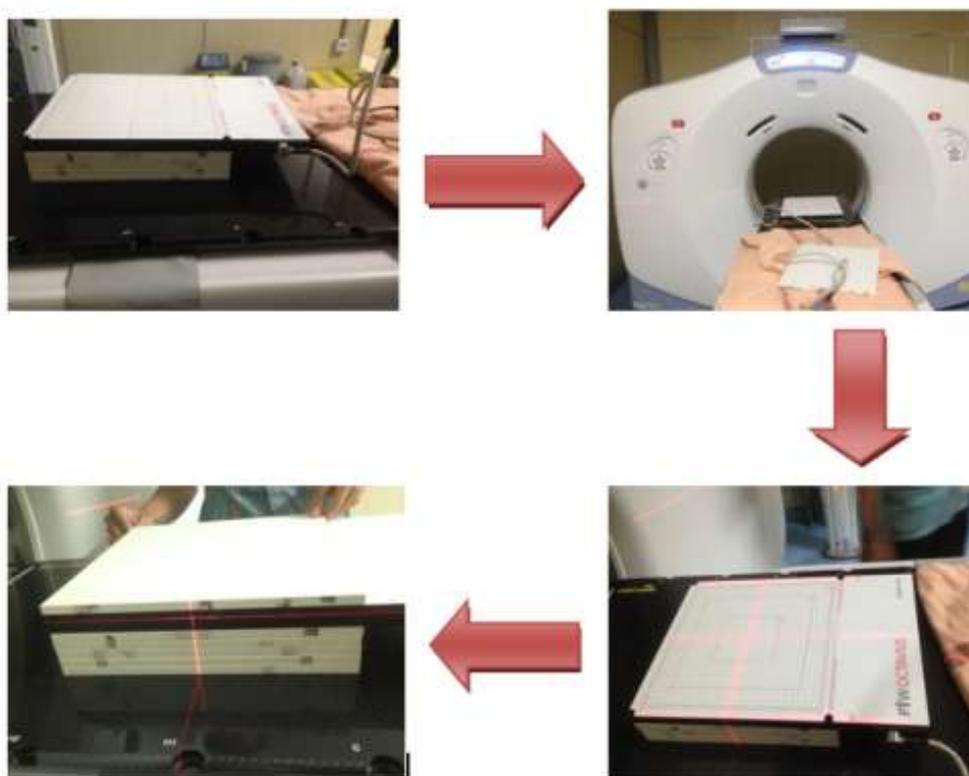
Adapun metode penelitian yang dilakukan melalui dua tahap, yaitu yang pertama *scanning* dimana *water solid phantom* (*sample*) dan detektor PTW (2D Array digunakan untuk pengukuran dosis) diatur di meja pasien lalu dipindai menggunakan CT Simulator, kemudian hasil pindai *phantom* ditransfer ke komputer *Treatment Planning System* (TPS). Tahap kedua yaitu TPS dimana pada hasil pemindaian dibuatkan variasi lapangan foton dan elektron dengan jarak

antar lapangan 0 – 5 mm pada kedalaman tertentu dengan variasi SSD 95 cm, 97,5 cm, 100 cm, 102,5 cm, dan 105 cm untuk melihat

keseragaman distribusi dosis yang dapat dilihat pada *Dose – Volume Histogram (DVH)*.



Gambar 1 Skema Dua Tahap Penelitian

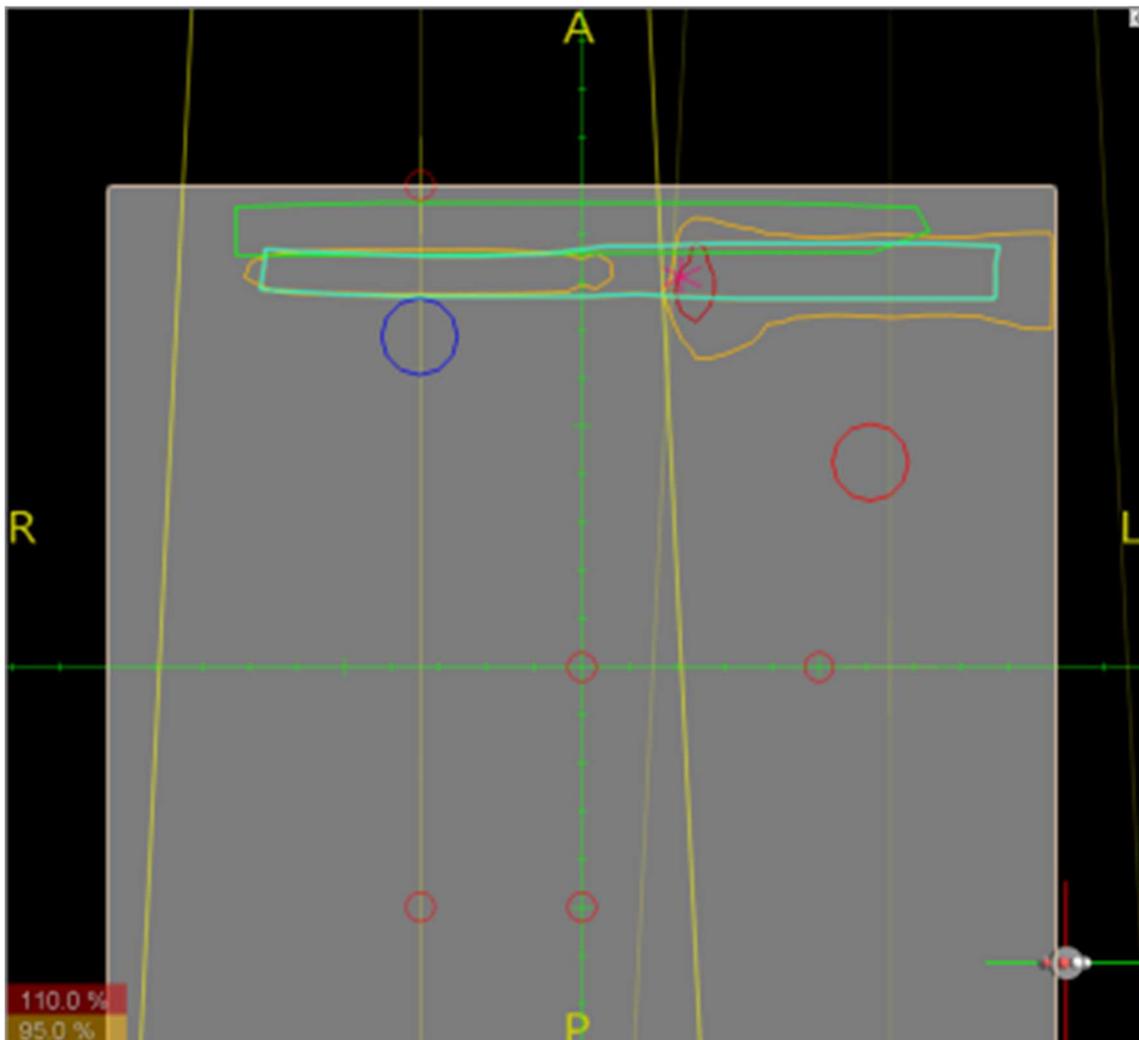


Gambar 2 Peletakan 2D Array dan Water Solid Phantom saat Proses Pemindaian dengan CT Simulator

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemindaian pada tahap pertama yang dikirim ke komputer TPS kemudian digunakan untuk melakukan rencana strategi terapi radiasi. Peneliti membuat *planning*

pada TPS untuk hasil pemindaian, dengan variasi SSD dari 95 cm, 97,5 cm, 100 cm, 102,5 cm, dan 105 cm. Dimana setiap SSD memiliki jarak antar lapangan foton dan elektron (*gap*) 0 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm.



Gambar 3 *Planning Phantom (Sample)* dengan jarak(gap) lapangan foton dan electron 4 mm dan SSD 100 cm

Gambar 3 menunjukkan dua *Planning Target Volume* (PTV) yang merupakan daerah arsip yang menjadi daerah penyinaran. PTV juga mencakup GTV dan CTV, dimana *Gross Tumor Volume* (GTV) merupakan tumor/kanker yang masih dapat dilihat dengan mata (masih kasat mata) sedangkan *Clinical Tumor Volume* (CTV) merupakan daerah yang memungkinkan terjadi penyebaran. PTV pada lapangan elektron berbentuk persegi panjang dan berwarna hijau sedangkan PTV pada lapangan foton berbentuk persegi panjang dan berwarna biru muda. Gambar 3 juga menunjukkan area lapangan penyinaran foton dan elektron yang ditunjukkan dengan garis yang berwarna kuning. Pembukaan lapangan penyinaran dibuat agar mencakup semua area persebaran

tumor (GTV, CTV, dan PTV).

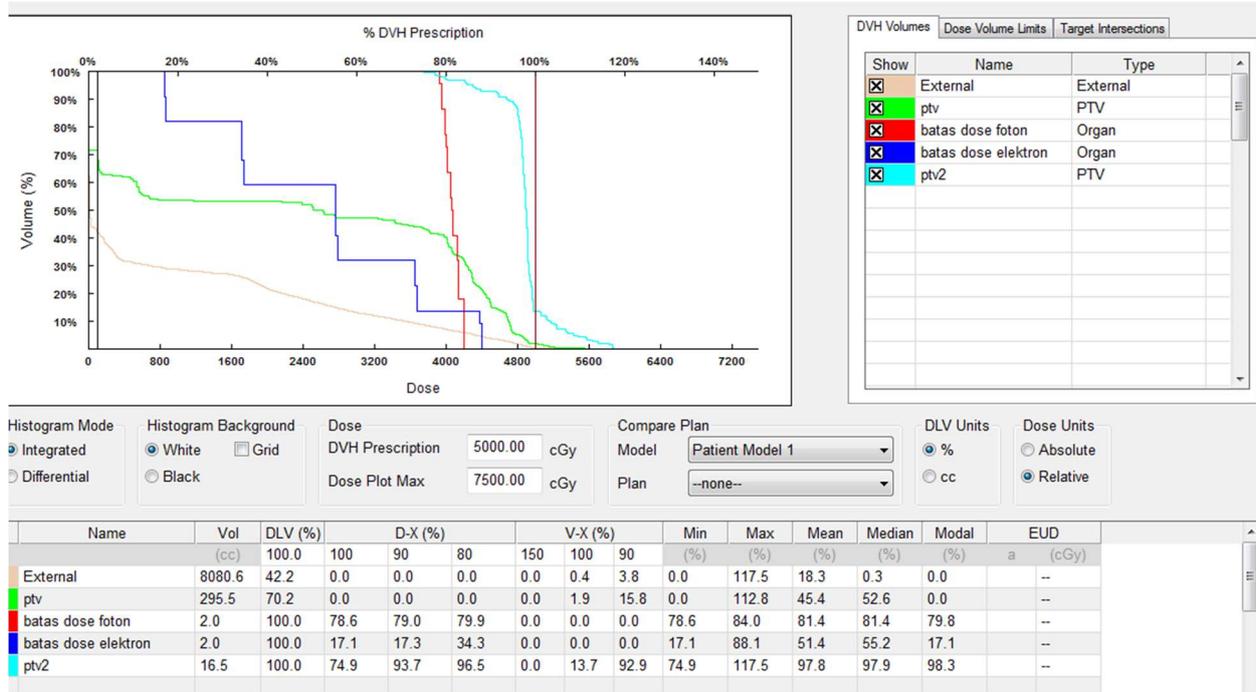
Selain itu, Gambar 3 juga menunjukkan batas dosis berkas foton dan berkas elektron. Batas dosis pada masing-masing lapangan digambarkan dengan bentuk lingkaran, dimana batas dosis berkas elektron yaitu lingkaran berwarna biru, dan batas dosis foton yaitu lingkaran berwarna merah.

Berdasarkan hasil TPS, didapatkan kerataan berkas penyinaran pada kedua lapangan penyinaran, dimana kedua lapangan mendapatkan dosis 95% yang ditandai dengan gambar berbentuk berwarna jingga dan pada lapangan foton terdapat dosis 110% yang ditandai dengan gambar berbentuk berwarna merah. Hal ini menunjukkan bahwa pada lapangan foton mendapatkan dosis yang berlebih (*hot spot*).

Untuk penggabungan dua lapangan (lapangan foton dan elektron), akan terjadi *cold spot* pada lapangan elektron dan *hot spot* pada lapangan foton (Khan et al. 2014). Hal ini dikarenakan hamburan elektron yang

lebih besar dibandingkan hamburan foton.

Berdasarkan hasil *planning* pada *phantom* (*sample*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, dihasilkan distribusi dosis yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 DVH SSD 100 cm, gap 4 mm

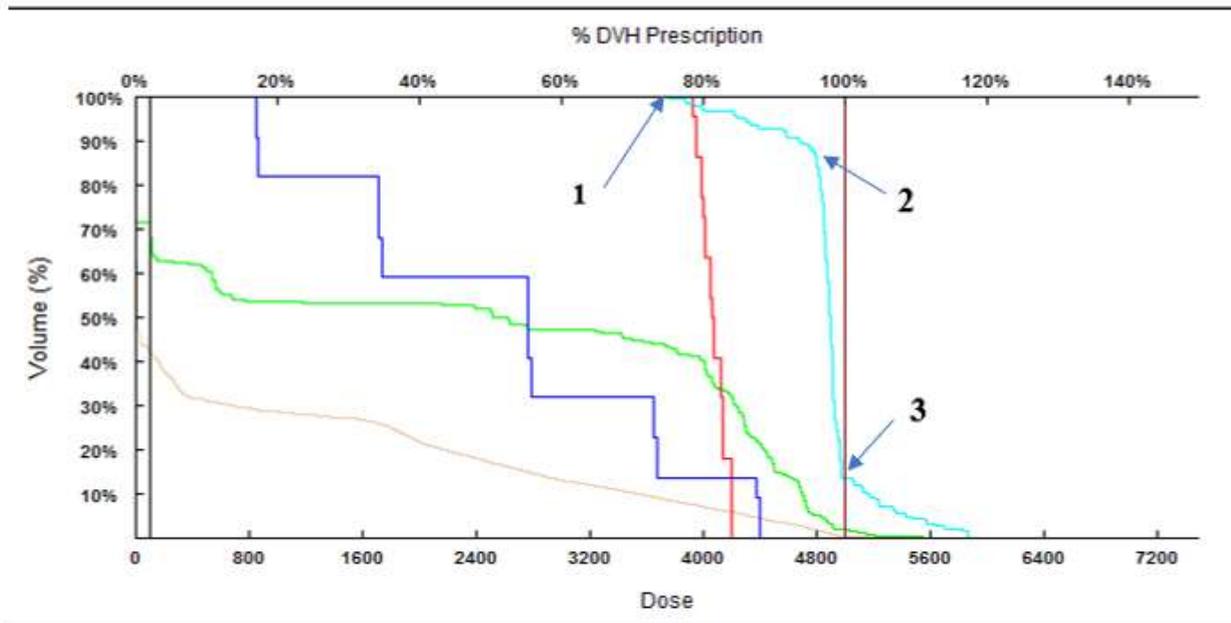
Peneliti melakukan analisis data dengan menggunakan TPS melalui *Dose - Volume Histogram*(DVH). DVH adalah histogram yang menghubungkan dosis radiasi dengan volume jaringan dalam perencanaan terapi radiasi. Grafik *Dose - Volume Histogram* (DVH) menunjukkan hubungan volume dengan dosis, dimana sumbu x menunjukkan dosis yang didapat sedangkan sumbu y menunjukkan nilai prosentase (%) volume suatu organ. Warna garis pada grafik DVH menunjukkan dosis yang didapatkan organ ataupun daerah penyinaran, dimana grafik berwarna biru tua dan merah merupakan grafik yang menunjukkan dosis yang didapatkan oleh organ yang berada dibawah PTV pada lapangan foton dan elektron. Sedangkan grafik berwarna hijau dan biru muda menunjukkan dosis yang didapatkan

oleh PTV pada lapangan foton dan elektron. Pada penelitian ini, nilai dosis serap yang diperhatikan yaitu dosis serap PTV pada lapangan foton (grafik berwarna biru muda). Hal ini dikarenakan dosis serap pada PTV lapangan elektron sudah terakumulasi pada dosis serap PTV lapangan foton.

DVH tidak menghitung dosis pada beberapa titik saja namun menghitung dosis radiasi seluruh volume organ, dengan persamaan sebagai berikut.

$$cDVH (D) = \sum_{x=D}^{D_{max}} dDVH (x) \quad (1)$$

Dimana, *dDVH* merupakan *differential Dose-Volume Histogram* dan *cDVH* merupakan *cumulative Dose-Volume Histogram*. *dDVH* menghitung dosis pada setiap titik dalam PTV (Perhatikan Gambar 5).



Gambar 5 Grafik Dose Volume Histogram (DVH) SSD 100 cm, gap 4 mm

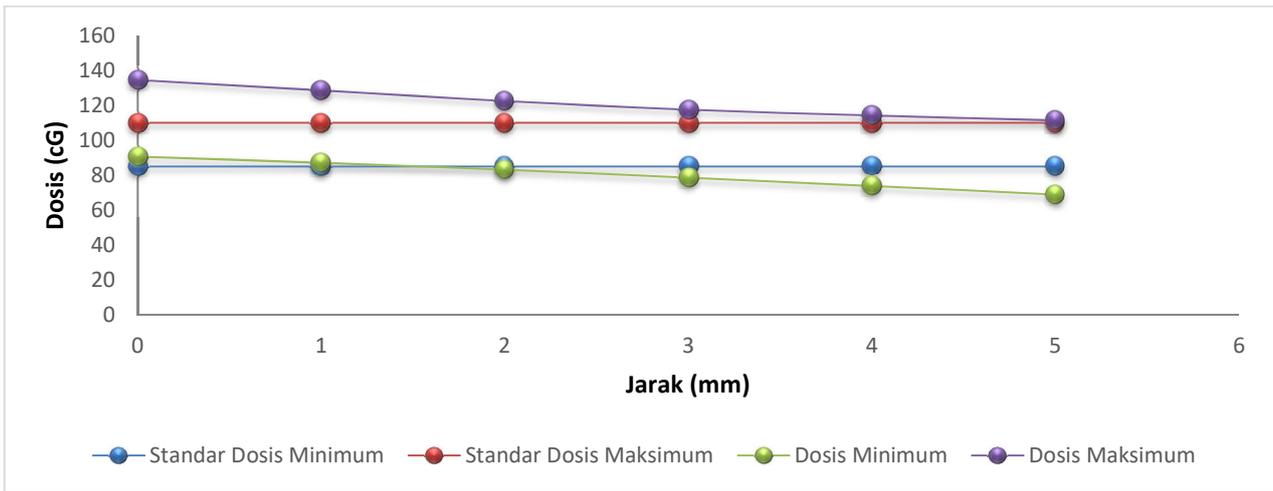
Grafik berwarna biru muda pada Gambar 5 merupakan PTV pada lapangan foton. Peneliti mengambil tiga titik (titik 1, 2, dan 3) dimana pada titik 1, 100% dari volume PTV mendapatkan kurang dari 80% dosis dari dosis yang dipaparkan. Pada titik 2, kurang dari 90% dari volume PTV mendapatkan kurang dari 100% dosis dari dosis yang dipaparkan, sedangkan pada titik 3, kurang dari 20% mendapatkan 100% dosis dari dosis yang dipaparkan. Dosis yang dipaparkan yaitu sebesar 5000 cG. *ddVH* melakukan perhitungan dosis pada setiap titik dalam volume PTV. Kemudian, seperti persamaan perhitungan dosis DVH, *cdVH* menjumlahkan *ddVH* sehingga didapatkan perhitungan dosis radiasi seluruh volume PTV.

Berdasarkan perhitungan dosis radiasi seluruh volume, didapatkan dosis radiasi pada PTV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu dosis minimum yang diterima sebesar 74,9% dan dosis maksimum

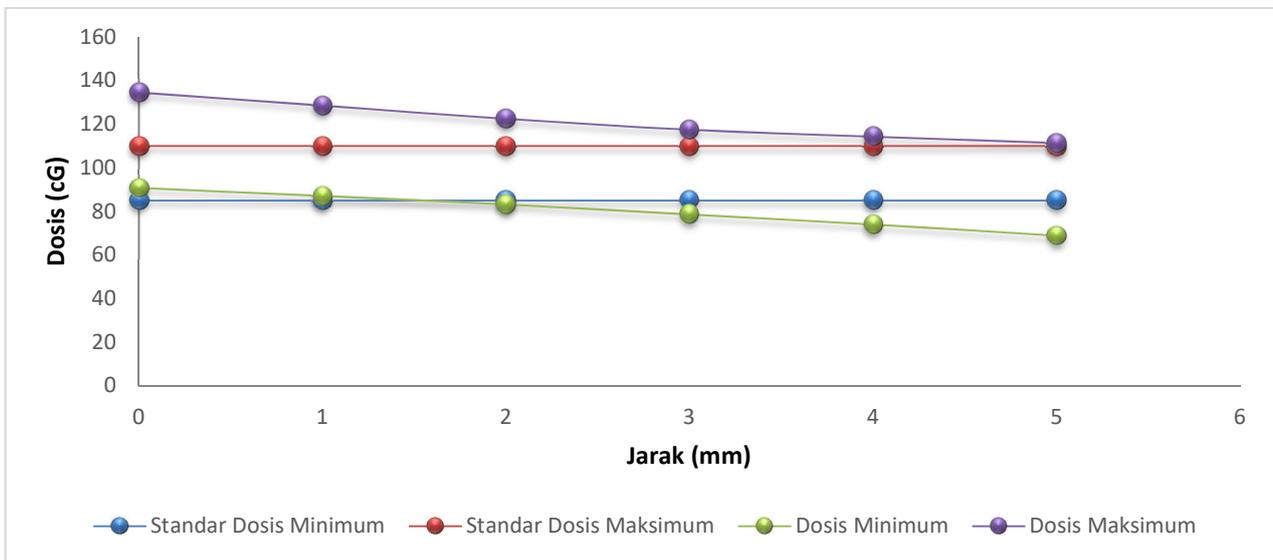
yang diterima sebesar 117,5% (Tabel 1 *Terlampir*). Sehingga dari 5000 cG dosis yang dipaparkan pada PTV dengan SSD 100 cm dan *gap* 4 mm, dosis radiasi minimum yang diserap oleh PTV yaitu 3745 cG dan dosis maksimum yang diserap oleh PTV yaitu 5875 cG.

Berdasarkan data hasil TPS, peneliti mendapatkan distribusi dosis untuk *gap* 0 mm – 5 mm pada setiap SSD. Hasil distribusi dosis tersebut kemudian dianalisis dengan selisih antara standar dosis dan dosis hasil TPS. Standar dosis minimal adalah 85%, standar dosis maksimal adalah 110%, dan standar dosis rata-rata adalah 95%.

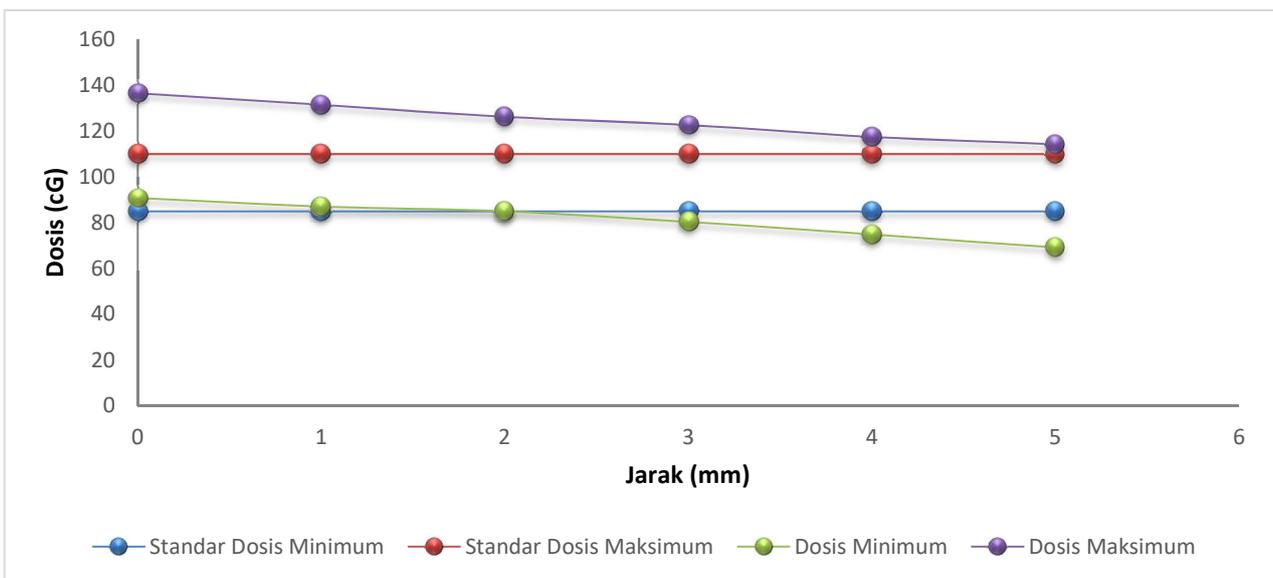
Adapun distribusi dosis berdasarkan DVH pada *phantom* dengan variasi SSD dari 95 cm, 97,5 cm, 100 cm, 102,5 cm, dan 105 cm, dimana setiap SSD memiliki jarak(*gap*) antar lapangan foton dan elektron 0 mm, 1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, dan 5 mm dimasukkan dalam grafik untuk masing-masing SSD, sebagai berikut.



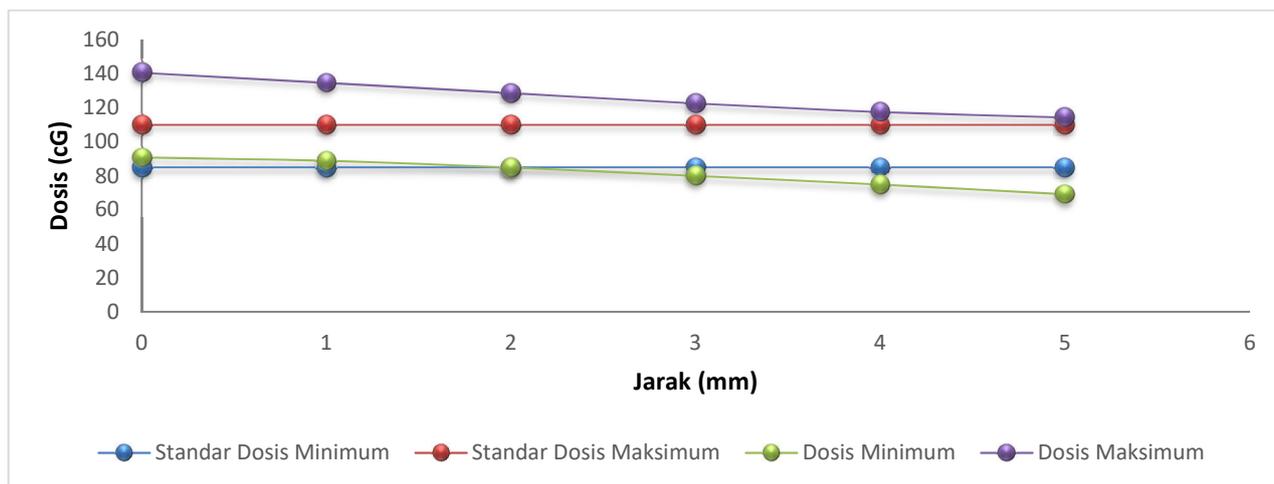
Gambar 6 Jarak vs. Dosis pada SSD 95 cm



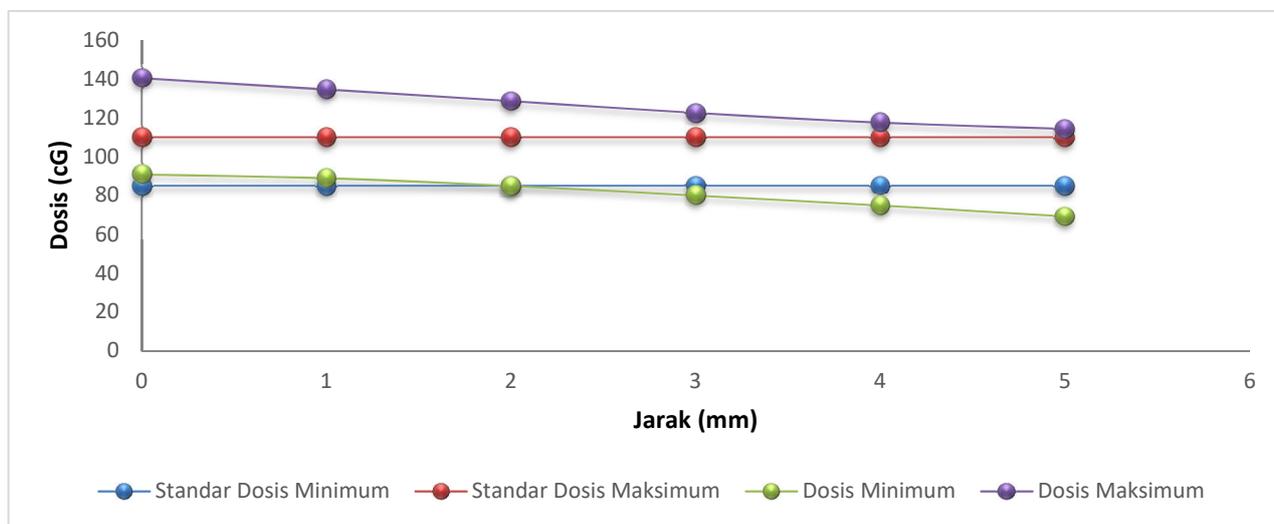
Gambar 7 Jarak vs. Dosis pada SSD 97,5 cm



Gambar 8 Jarak vs. Dosis pada SSD 100 cm



Gambar 1 Jarak vs. Dosis pada SSD 102,5 cm



Gambar 2 Jarak vs. Dosis pada SSD 105 cm

Keseragaman dosis antara dosis minimum dan dosis maksimum untuk *gap* tertentu pada setiap SSD dapat dilihat pada setiap gambar grafik.

Terlihat bahwa jarak (*gap*) antara lapangan foton dan elektron mempengaruhi distribusi dosis berkas elektron dan berkas foton. Berdasarkan data pada Gambar 6 dan Gambar 7, pada saat diberikan SSD 95 cm dan 97,5 cm, jarak antar lapangan (*gap*) 3 merupakan *gap* yang memiliki selisih dosis maksimum dan minimum hampir sama, yaitu 7,5% dan -6,4%. Pada gambar juga menunjukkan bahwa pada *gap* 3, dosis maksimum dan minimum hampir seragam (seimbang antara *hot spot* dan *cold spot*).

Pada saat diberikan SSD 100 cm dan 102,5

cm, *gap* 4 merupakan *gap* yang memiliki selisih dosis maksimum dan minimum hampir sama, yaitu 7,5% dan -10,1%. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 juga menunjukkan bahwa pada *gap* 4, dosis maksimum dan minimum hampir seragam (seimbang antara *hot spot* dan *cold spot*).

Pada saat diberikan SSD 105 cm, tidak ditemukan *gap* yang memiliki selisih dosis maksimum dan minimum hampir sama. Berdasarkan data pada Gambar 10, selisih dosis maksimum dan minimum bernilai cukup besar sehingga antara *hot spot* dan *cold spot* tidak seimbang atau seragam.

Untuk itu, *treatment* dengan menggunakan dua lapangan (lapangan foton dan elektron) pada *phantom* dengan SSD 95 cm

dan 97,5 cm dianjurkan untuk menggunakan jarak (*gap*) antar lapangan sebesar 3 mm karena memiliki selisih dosis yang paling seragam, sehingga efek dari dosis yang berlebih (*hot spot*) terhadap pasien dapat lebih diminimalisir dan daerah yang mendapatkan kekurangan dosis (*cold spot*) tidak terlalu besar. Namun, secara klinis, SSD yang direkomendasikan untuk digunakan pada *treatment*, yaitu SSD 97,5 cm dengan jarak (*gap*) antar lapangan 3 mm. SSD 95 cm tidak direkomendasikan karena mempertimbangkan letak aplikator yang sangat dekat dengan permukaan kulit pasien.

Penelitian ini secara umum menunjukkan jarak antara lapangan (*gap*) foton dan elektron yang menghasilkan dosis yang seragam. Penelitian ini tidak sepenuhnya memperhatikan hal-hal klinis seperti letak jaringan yang rusak terhadap jaringan sehat. Namun, pertimbangan klinis tidak boleh diabaikan dalam proses *treatment* pada pasien (hal-hal klinis harus tetap diperhatikan).

IV. KESIMPULAN

Jarak (*gap*) antara lapangan foton dan elektron mempengaruhi distribusi dosis berkas elektron dan berkas foton.

Treatment dengan menggunakan dua lapangan penyinaran (lapangan foton dan elektron) pada *phantom* dengan SSD 95 cm dan 97,5 cm dianjurkan untuk menggunakan jarak (*gap*) antar lapangan sebesar 3 mm karena memiliki selisih dosis yang paling seragam, sehingga efek dari dosis yang berlebih (*hot spot*) terhadap pasien dapat lebih diminimalisir dan daerah yang mendapatkan kekurangan dosis (*cold spot*) tidak terlalu besar. Namun, secara klinis, SSD yang direkomendasikan untuk dipakai pada *treatment* yaitu SSD 97,5 cm dengan jarak antar lapangan 3 mm.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Rumah Sakit Ken Saras yang telah memfasilitasi penggunaan alat untuk pengambilan data dan Dr. Elia Aditya Bani

Kuntjoro, Sp.Rad serta Muhammad Hidayatullah S.Si yang telah mendampingi peneliti dalam proses pengambilan data, juga kepada Giner Maslebu S.Pd., S.Si., M.Si dan Dr. Suryasatriya Trihandaru, M.Sc.nat yang telah membimbing peneliti dalam proses penulisan *paper*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2015. Stop Kanker. Jakarta Selatan: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Diakses dari <http://www.depkes.go.id/resources/availab/ein/pusdatin/infodatin/infodatinkanker.pdf>, pada tanggal 15 Februari 2017.
- Alatas, Z., Hidayati, S., Akhadi, M., Purba, M., Purwadi., Ariyanto, S., Winarno, H., Rismiyanto, Sofyatingrum, E., Hendriyanto, Widyastono, H., Parmanto, E. M., & Syahril, 2009. *Buku Pintar Nuklir*. Banten: Batan.
- Dieterich, S., Ford, E., Pavord, D., & Zeng, J., 2016. *Practical Radiation Oncology Physics (A Companion to Gunderson & Tepper's Clinical Radiation Oncology)*, First Edition. Philadelphia: Elsevier.
- Khan, Faiz M. & Gibbons, John P., 2014. *The Physics of Radiation Therapy*, Fifth Edition. Philadelphia: Lippincot Williams, a Wolters Kluwer.
- Johnson, Jane M. & Khan, Faiz M., 1994. Dosimetric Effects of Abutting Extended Source to Surface Distance Electron Fields with Photon Fields in The Treatment of Head and Neck Cancers. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 28(3), 741-747.
- Steel, J., 2007. Investigation Into The Dosimetric Effect of Abutting Multi-Leaf-Collimated Photon Fields with Extended Source-to-Surface Electron Fields. *Tesis*. Degree of Master of Science in Medical Physics, New Zealand: University of Canterbury.
- Sun, C., Cheng, C-W., Shimm, D. S., & Cassady J. R., 1998. *Dose Profiles in The Region of Abutting Photon and Electron Fields in The Irradiation of Head and Neck Tumors*. *Medical Dosimetry*, 23(1), 5-10.

Karlsson, M. & Zackrisson, B., 1993. Matching of Electron and Photon Beams with A Multi-leaf Collimator. Elsevier Scientific Publishers Ireland. *Radiotherapy and Oncology* 29: 317-326.

Kemikler, G., 2006. Dosimetric Effect of Matching 6 MV Photon and Electron Field in The Treatment of Head and Neck Cancers. Elsevier Scientific Publishers Ireland. *Radiation Measurements* 41: 183–188.

LAMPIRAN

Tabel 1 Hasil analisis data TPS

SSD (cm)	GAP (mm)	Dosis (%)			Selisih Dosis (%)		
		Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
95	0	90.7	134.6	100.2	5.7	24.6	5.2
	1	87.1	128.6	99.5	2.1	18.6	4.5
	2	83.2	122.5	98.8	-1.8	12.5	3.8
	3	78.6	117.5	98.2	-6.4	7.5	3.2
	4	73.9	114.3	97.5	-11.1	4.3	2.5
97.5	5	68.9	111.4	96.8	-16.1	1.4	1.8
	0	90.8	134.6	100.3	5.8	24.6	5.3
	1	87.1	128.6	99.7	2.1	18.6	4.7
	2	83.2	122.5	98.9	-1.8	12.5	3.9
	3	78.6	117.5	98.3	-6.4	7.5	3.3
100	4	74	114.3	97.6	-11	4.3	2.6
	5	68.9	111.4	96.9	-16.1	1.4	1.9
	0	90.8	136.6	100.6	5.8	26.6	5.6
	1	87.1	131.5	99.9	2.1	21.5	4.9
	2	85	126.3	99.2	0	16.3	4.2
102.5	3	80.4	122.7	98.8	-4.6	12.7	3.8
	4	74.9	117.5	97.8	-10.1	7.5	2.8
	5	69.2	114.3	97.1	-15.8	4.3	2.1
	0	90.8	140.5	100.9	5.8	30.5	5.9
	1	88.9	134.6	100.2	3.9	24.6	5.2
105	2	84.9	128.6	99.5	-0.1	18.6	4.5
	3	80	122.5	98.8	-5	12.5	3.8
	4	74.9	117.5	98.1	-10.1	7.5	3.1
	5	69.2	114.3	97.4	-15.8	4.3	2.4
	0	88.9	134.6	100.4	3.9	24.6	5.4
	1	84.9	128.6	99.7	-0.1	18.6	4.7
	2	80	122.6	99	-5	12.6	4
	3	78.6	121.2	98.3	-6.4	11.2	3.3
	4	74	117.4	97.6	-11	7.4	2.6
	5	69	114.3	96.9	-16	4.3	1.9