

Verifikasi Distribusi Dosis Teknik *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) dan RapidArc Menggunakan *C-Shape Phantom*

Purwantiningsih^{1*}, Reza Yuliatami², dan Heru Prasetyo³
^{1,2} Universitas Nasional

³ Badan Tenaga Nuklir Nasional

* E-mail: purwantiningsih.fisika@gmail.com

Abstrak

Verifikasi distribusi dosis menggunakan C-Shape phantom dengan teknik IMRT dan RapidArc. Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian distribusi dosis antara perencanaan TPS dan pengukuran pada film *gafchromic EBT3*. Perencanaan dilakukan mengikuti ketentuan AAPM TG-119. Pengukuran dilakukan dengan meletakkan film *gafchromic EBT3* ditengah phantom. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan distribusi dosis antara perencanaan TPS dan pengukuran pada film *gafchromic EBT3* menggunakan metode evaluasi gamma dengan kriteria *Dose Difference* (DD) dan *Dose to Agreement* (DTA) yang digunakan adalah 3% 3mm dan 2% 2mm. Hasil evaluasi gamma pada teknik IMRT dan RapidArc dan kriteria DD/DTA 3% 3mm dan 2% 2mm diperoleh nilai indeks gamma volume ≤ 1 yang dinyatakan lulus uji kriteria toleransi dengan keakuratan distribusi dosis yang sama sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbandingan dosis antara perencanaan TPS dan pengukuran film *gafchromic EBT3* pada kedua teknik dan kedua kriteria sangat baik, sesuai ketentuan AAPM TG-119 dimana tingkat akurasi dinilai lulus uji jika hasilnya lebih dari 95%.

Kata Kunci: Distribusi dosis; Film *gafchromic EBT3*; IMRT; RapidArc, Evaluasi gamma.

Abstract

The leveraging of dose distribution using C-Shape Phantom with IMRT and RapidArc techniques. This study aims to verify the dose distribution between TPS planning and measurements on the EBT3 gafchromic film. Planning is carried out according to the provisions of AAPM TG-119. Measurements were made by placing the EBT3 gafchromic film in the center of the phantom. Verification was carried out by comparing the dose distribution between TPS planning and measurements on EBT3 gafchromic film using the gamma evaluation method with the Dose Difference (DD) and Dose to Agreement (DTA) criteria used were 3% 3mm and 2% 2mm. The results of gamma evaluation on IMRT and RapidArc techniques and DD/DTA criteria 3% 3mm and 2% 2mm obtained a volume 1 gamma index value which was declared to have passed the tolerance criteria test with the same dose distribution accuracy of 100%. These results indicate that the dose comparison between TPS planning and EBT3 gafchromic film measurements in both techniques and both criteria is very good, according to the provisions of AAPM TG-119 where the accuracy rate is considered to pass the test if the result is more than 95%.

Keywords: Dose distribution; EBT3 gafchromic film; IMRT; RapidArc; Gamma evaluation.

PENDAHULUAN

Kanker merupakan salah satu penyebab utama kematian di seluruh dunia. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), terhitung hampir 10 juta kematian yang diakibatkan oleh kanker pada tahun 2020 (1). Di Indonesia sendiri terdapat hampir 400 ribu kasus baru dan hampir 235 ribu kasus kematian pada tahun 2020 (2). Salah satu dari tiga metode utama pengobatan kanker adalah

Radioterapi. Radioterapi memanfaatkan radiasi pengion untuk membunuh sel-sel kanker. Namun radiasi pengion dapat memicu transformasi sel-sel normal menjadi sel-sel kanker, sehingga diperlukan perencanaan pada *Treatment Planning System* (TPS) yang baik dan tepat agar dosis radiasi yang diberikan akurat dan tersebar merata pada sel kanker serta mengurangi dosis radiasi tersebar di luar area penyinaran khususnya pada *organ at risk* (OAR). Secara global teknik penyinaran yang paling sering digunakan dalam terapi radiasi adalah teknik IMRT. Teknik IMRT memiliki potensi untuk meminimalkan dosis pada jaringan normal dan OAR serta mengurangi resiko efek samping. Namun, durasi terapi teknik IMRT cukup lama serta memberikan nilai MU lebih banyak yang dapat meningkatkan kanker sekunder, sehingga dikembangkanlah teknik lanjutan berupa teknik RapidArc. RapidArc atau *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) memiliki parameter distribusi dosis yang sebanding atau terkadang lebih baik daripada IMRT, dengan durasi terapi 8 kali lebih singkat dan MU lebih sedikit daripada IMRT (3,4).

Berdasarkan *IAEA Safety Report Series No. 17*, kalibrasi dan *commissioning* mesin, serta perencanaan terapi menjadi sumber utama penyebab terjadinya kesalahan pada terapi radiasi. Hal ini dapat disebabkan oleh prosedur kalibrasi mesin yang salah, dan kalkulasi dosis pasien yang salah karena tidak ada pemeriksaan manual pada perencanaan yang dibuat (5). Salah satu langkah untuk mengidentifikasi kesalahan terapi radiasi tersebut dengan melakukan verifikasi distribusi dosis antara perencanaan pada TPS serta pengukuran menggunakan dosimeter. Kaviarasu K, dkk (2017) melakukan verifikasi keakuratan uji coba dosimetri dengan teknik IMRT dan VMAT berdasarkan rekomendasi dari AAPM TG-119 pada multitarget, prostat tiruan, kepala/leher tiruan, dan bentuk C menggunakan detector array 2D *matrix evolution* (6). Kemudian Nainggolan A, dkk (2019) melakukan verifikasi keakuratan uji coba teknik VMAT dan IMRT menggunakan phantom air dan detector array 2D *matrix evolution* serta pemberian dosis berdasarkan acuan AAPM TG-119 (7). Fikiyah, Fitya (2021) melakukan verifikasi distribusi dosis pada C-Shape phantom menggunakan film *gafchromic EBT3* dengan teknik IMRT menggunakan empat material silinder mengikuti acuan AAPM TG-119 (8).

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan dosis hasil perencanaan pada TPS dengan hasil pengukuran menggunakan film *gafchromic EBT3* dengan teknik IMRT dan RapidArc menggunakan C-Shape phantom dengan isian udara. Data yang dianalisis pada penelitian ini adalah data hasil distribusi dosis. Data tersebut dianalisa dengan cara membandingkan hasil distribusi dosis perencanaan TPS dengan distribusi dosis pengukuran film. Perbandingan dosis dilakukan dengan metode evaluasi gamma menggunakan perangkat lunak *3D Slicer*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan C-Shape phantom isian (*core*) udara dengan teknik IMRT dan RapidArc lalu menganalisis nilai distribusi dosis yang diperoleh. Penelitian ini akan dilakukan di instalasi Radioterapi RSUD Pasar Minggu, yang beralamat di Jl. TB Simatupang No.1, RT.1/RW.5, Ragunan, Kec. Ps. Minggu, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta.

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

- a. CT-Simulator digunakan untuk memindai phantom. Merk/tipe yang digunakan adalah Toshiba/CXB-500B dengan No.Seri 163124 dapat dilihat pada Gambar 1.



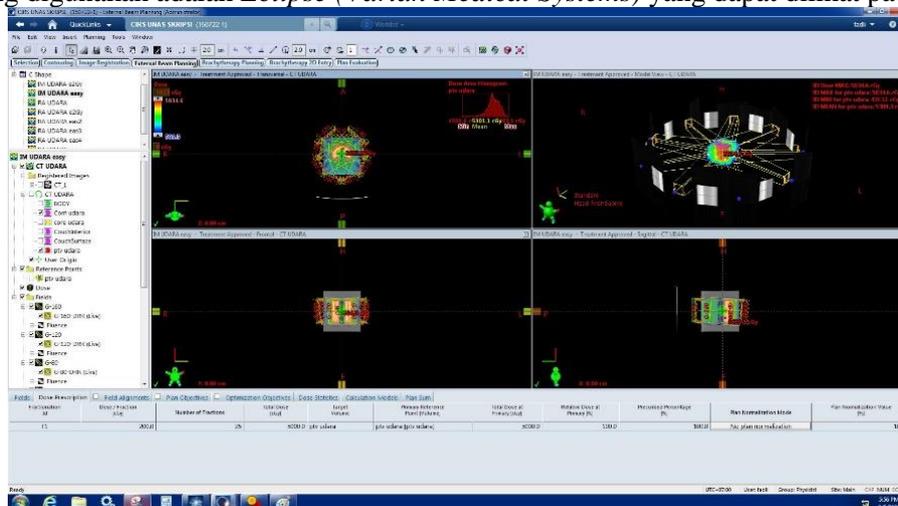
Gambar 1. CT-Simulator

- b. Pesawat LINAC digunakan untuk penyinaran film *gafchromic EBT3*. Merk LINAC yang digunakan pada penelitian ini adalah *Varian Trilogy Stereotactic System* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Pesawat LINAC

- c. *Treatment Planning System (TPS)* digunakan untuk melakukan perencanaan distribusi dosis. Jenis TPS yang digunakan adalah *Eclipse (Varian Medical Systems)* yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 TPS Eclipse

- d. C-Shape Phantom terdiri dari dua bagian phantom yang memiliki ukuran $15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$. Bentuk phantom dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. C-Shape Phantom

- e. *Scanner* film digunakan untuk memindai film *gafchromic* EBT3 yang sudah diradiasi. Tipe *scanner* yang digunakan adalah *Scanmaker 1000XL* Microtek yang dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil pemindaian film dengan *scanner* ini berupa file tif.

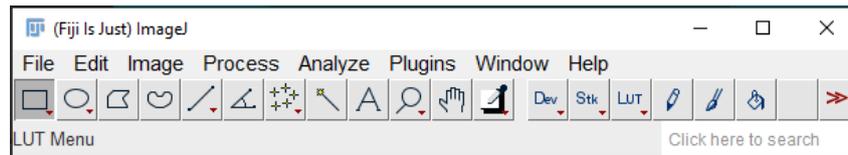


Gambar 5. Seperangkat Mesin *Scanmaker 1000XL* Microtek

- f. Perangkat lunak

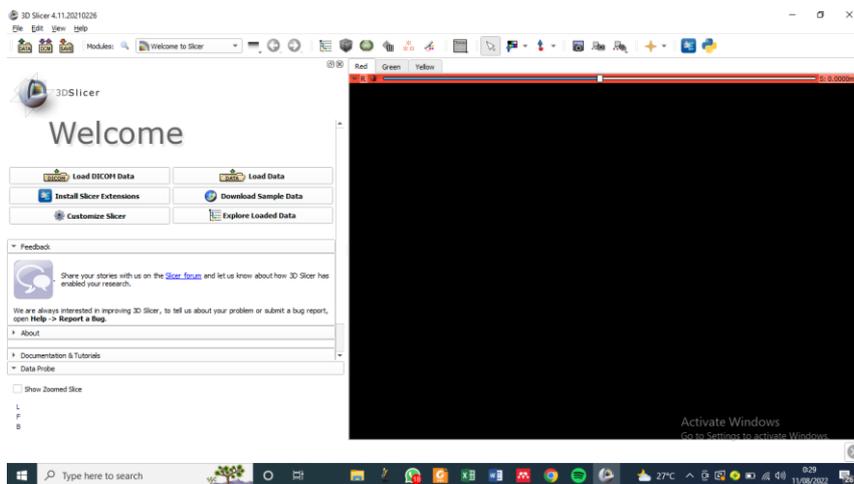
Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak berbasis MATLAB, ImageJ, dan *3D Slicer*. Perangkat lunak berbasis MATLAB digunakan untuk menghitung nilai rata-rata piksel, *netOD*, dan dosis pada film *gafchromic* EBT3. Selain itu, pada perangkat lunak tersebut terdapat aplikasi tambahan bernama *curve fitting* untuk membuat kurva kalibrasi.

Perangkat lunak ImageJ digunakan untuk mengolah data hasil pemindaian film *gafchromic* EBT3 dalam format tif. Data tif tersebut kemudian akan disimpan dalam format *nrrd*. Varian ImageJ yang digunakan adalah Java 1.8.0_322 (64-bit) dengan tampilan perangkat yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan perangkat lunak ImageJ

Perangkat lunak *3D Slicer* digunakan untuk menganalisis dosimetri film, karena dapat disesuaikan dengan kebutuhan analisis dan visualisasi gambar. Analisis dosimetri film mengacu pada perangkat lunak tambahan yang dikembangkan untuk bidang radioterapi yaitu *SlicerRT*, dimana perangkat tersebut berisi banyak fitur khusus untuk radioterapi, seperti memuat data DICOM-RT dan perbandingan dosis (28). Varian perangkat lunak *3D Slicer* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Slicer 4.11.20210226* dengan tampilan perangkat yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan perangkat lunak 3D Slicer

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah film *gafchromic EBT3* yang digunakan untuk mengukur distribusi dosis. Film ini berukuran 25 cm × 20 cm, dan hanya dapat digunakan satu kali. Gambar film dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Film Gafchromic EBT3

Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Pengambilan data diawali dengan memindai C-Shape phantom dengan menggunakan CT-Simulator untuk mendapatkan *image* (citra) phantom. Setelah pemindaian selesai, hasil citra phantom dikirim ke TPS untuk dilakukan perencanaan distribusi dosis. Ketentuan AAPM TG-119 digunakan untuk perencanaan distribusi dosis pada C-Shape. Optimisasi pada perencanaan dilakukan sampai ketentuan distribusi dosis tersebut terpenuhi. Setelah perencanaan sudah optimal, hasil dari perencanaan tersebut dikirim ke LINAC untuk penyinaran film *gafchromic* EBT3. Selain itu data perencanaan tersebut juga dipindahkan ke DVD-R dalam bentuk *RT dose*, *RT plan*, dan *dicom CT* untuk kemudian di *input* ke perangkat lunak *3D Slicer* untuk nantinya diverifikasi.

Sebelum penyinaran, dilakukan kalibrasi *output* LINAC dan kalibrasi film *gafchromic* EBT3. Kemudian dilakukan penyinaran pada film *gafchromic* EBT3 menggunakan dua teknik penyinaran, yaitu teknik IMRT dan RapidArc. Setelah film disinari, film tersebut dipindai menggunakan *scanner* untuk mendapatkan citra hasil penyinaran dalam format tif.

Data yang dianalisis pada penelitian ini adalah data hasil distribusi dosis. Data tersebut dianalisa dengan cara membandingkan hasil distribusi dosis perencanaan TPS dengan distribusi dosis pengukuran film. Perbandingan dosis dilakukan dengan metode evaluasi gamma menggunakan perangkat lunak *3D Slicer*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Output LINAC

Kalibrasi *output* LINAC bertujuan agar dosis yang diberikan sesuai dosis yang diatur pada panel kontrol. Pada pengukuran ini detektor farmer dihubungkan dengan electrometer agar nilai bacaan yang berupa muatan (nC) dapat diperoleh. Kalibrasi dilakukan dengan tiga variasi tegangan, yaitu +300 V, -300 V, dan +100 V. Sebelum kalibrasi dilakukan, suhu air dan tekanan perlu diukur terlebih dahulu.

Tabel 1. Hasil bacaan elektrometer

Kedalaman Referensi (g.cm)	Hasil Bacaan (nC)		
	300 V (+)	300 V (-)	100 V (+)
10	27.630	27.700	27.480
	27.630	27.710	27.480
	27.620	27.710	27.480
Mean	27.627	27.707	27.480

Tabel 1 menunjukkan nilai-nilai hasil bacaan electrometer pada setiap tegangan. Kemudian nilai-nilai hasil bacaan tersebut dipergunakan untuk memperoleh nilai hasil pengukuran.

Tabel 2 Nilai hasil kalibrasi berkas foton

Parameter	Energi Foton 6 MV	Satuan
Suhu Terukur (T)	20.960	°C
Tekanan Terukur (P)	100.610	%
V1	300	V
V2	100	V
PDD _{20,10}	0.574	%
TPR _{20,10}	0.667	-
k _Q , Q ₀	0.996	-

k _{tp}	1.010	-
k _{elec}	1	-
M ₋	0.139	-
M ₊	0.138	-
M	0.138	-
k _{pol}	1.002	-
V1/V2	3	-
α ₁	1.198	-
α ₂	-0.875	-
α ₃	0.677	-
M1	0.138	nC
M2	0.137	nC
k _s	1.003	-
MQ	0.140	nC/MU
D _w Q _{zref}	0.007	Gy/MU
	0.670	cGy/MU
D _w Q _{zmax}	0.010	Gy/MU
	0.999	cGy/MU
Standar Deviasi	0.052	%

Tissue-Phantom Ratio (TPR_{20,10}) adalah rasio dosis serap pada kedalaman 20 cm dan 10 cm pada *water phantom*. TPR_{20,10} dapat diperoleh menggunakan persamaan (1).

$$TPR_{20,10} = 1.2661 \times PDD_{20,10} - 0.0595 \quad (1)$$

Berdasarkan Tabel 2, standar deviasi yang diperoleh pada kalibrasi ini sebesar 0.052%. Nilai tersebut memenuhi batas toleransi yang direkomendasikan AAPM Report No. 46, dimana ketidakakuratan maksimal sebesar 2-3% (31).

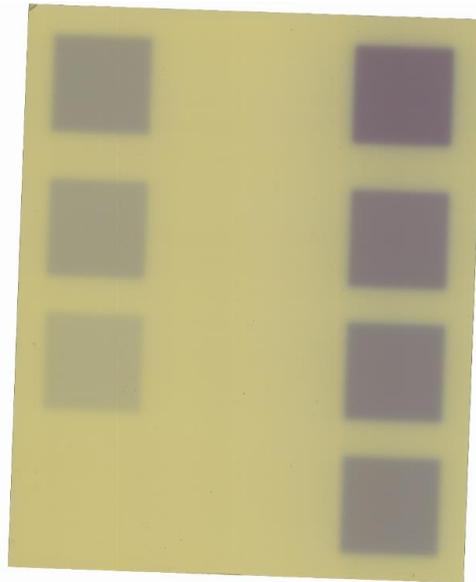
Kalibrasi Film *Gafchromic EBT3*

Kalibrasi film *gafchromic EBT3* dilakukan menggunakan pesawat LINAC. Besaran *output* dari LINAC berupa cGy/MU. Untuk mentransfer sejumlah dosis D melalui kedalaman Z dan jangkauan lapangan A menggunakan teknik iradiasi SSD, diperlukan jumlah MU yang sesuai yang dapat diperoleh dengan persamaan yang sudah terkomputerisasi di komputer.

$$MU = \frac{D(Z)}{D(Z_{max}) \times PDD(Z,A) \times OF(A)} \quad (2)$$

Dimana $D(Z_{max})$ adalah laju dosis pada kedalaman maksimum, $PDD(Z,A)$ adalah perbandingan dosis pada kedalaman tertentu dengan dosis kedalaman maksimum, dan OF (*output factor*) adalah faktor koreksi untuk perbedaan luas lapangan saat pengukuran dosis absolut dengan luas lapangan penyinaran.

Terlihat pada Gambar 1 bahwa terdapat 8 lapangan penyinaran dengan variasi dosis sebesar 0 cGy sampai 250 cGy dengan interval 50 cGy, dengan tambahan dosis sebesar 300 cGy dan 450 cGy (8). Film yang telah diradiasi dipindai menggunakan *scanner* dengan resolusi 300 dpi, dan data hasil pemindaian tersebut disimpan dalam format tif.



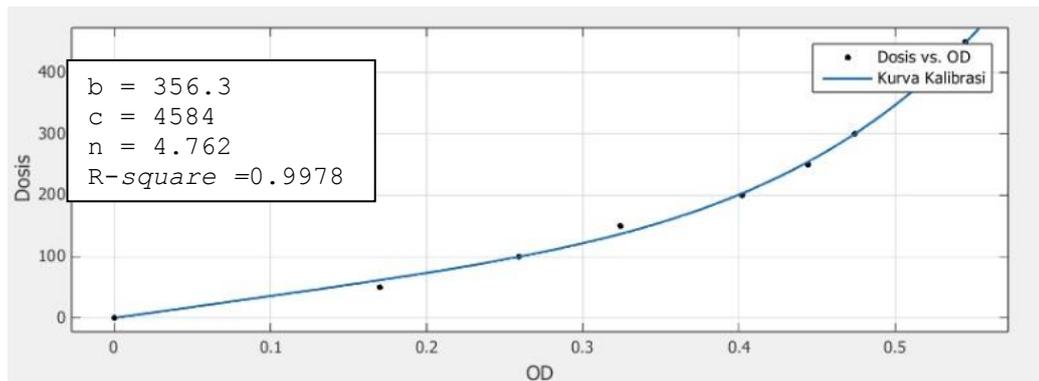
Gambar 9. Hasil pemindaian film kalibrasi

Proses pemindaian dilakukan pada film yang diradiasi dan film yang tidak diradiasi. Film dipindai sebanyak lima kali dengan tujuan untuk mengurangi *noise* dari *scanner* (8). Data citra hasil pemindaian tersebut kemudian diolah menggunakan MATLAB untuk mencari nilai rata-rata dari kelima hasil pemindaian film tersebut. *Region of Interest* (ROI) di tengah berkas lapangan penyinaran dilakukan untuk mengambil rata-rata nilai piksel menggunakan ImageJ, kemudian didapat nilai *netOD* untuk masing-masing dosis yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data hasil kalibrasi film *gafchromic EBT3*

MU	Dosis (cGy)	<i>netOD</i>	Dosis Terukur (cGy)	Deviasi (%)
0	0	0	0	0
88	50	0.170	56.900	13.800
176	100	0.259	99.860	0.140
264	150	0.324	149.990	0.007
352	200	0.402	199.740	0.130
440	250	0.444	249.870	0.052
528	300	0.474	299.760	0.080
791	450	0.545	449.910	0.020

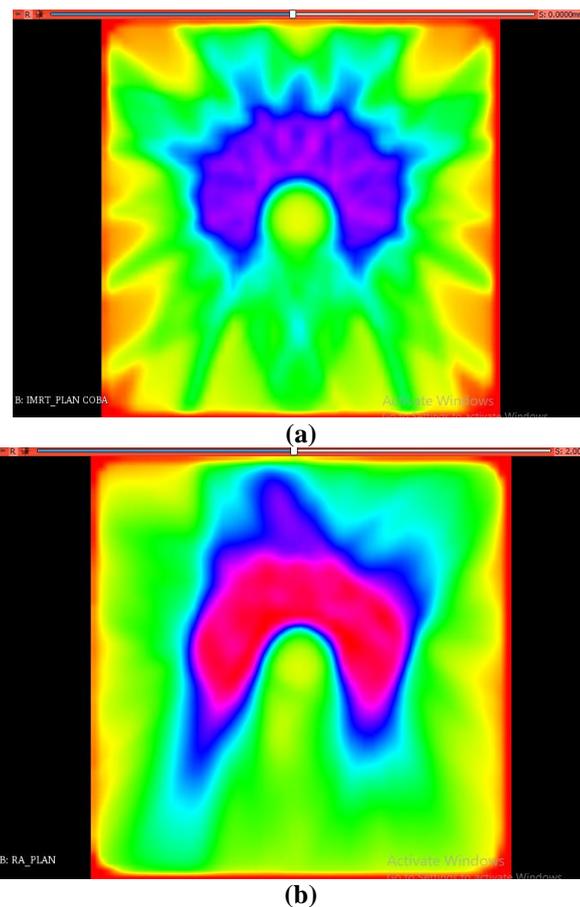
Gambar 10 menunjukkan hasil plot *netOD* dan dosis dari Tabel 3, dimana nilai *netOD* sebagai sumbu x dan dosis sebagai sumbu y. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa nilai *netOD* berbanding lurus dengan dosis, semakin besar dosis maka semakin besar pula nilai *netOD* yang dihasilkan. Hubungan antara *netOD* dan dosis di *fitting* menggunakan persamaan (2.9) dengan aplikasi *curve fitting* pada MATLAB. Dari hasil *fitting* tersebut diperoleh koefisien b, c, dan n yang kemudian digunakan untuk menghitung dosis terukur pada film yang terdapat pada Tabel 3. Selain itu, koefisien regresi (*R-square*) juga dihasilkan dari kurva kalibrasi film yang bernilai 0.9978. Nilai *R-square* tersebut berarti bahwa garis regresi sesuai dengan nilai data asli, karena nilai yang didapatkan mendekati satu (32). Kemudian koefisien-koefisien tersebut digunakan untuk menghitung nilai dosis terukur pada film menggunakan persamaan (2.9) yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 10. Kurva kalibrasi film *gafchromic EBT3*

Verifikasi Distribusi Dosis Hasil Perencanaan dan Pengukuran

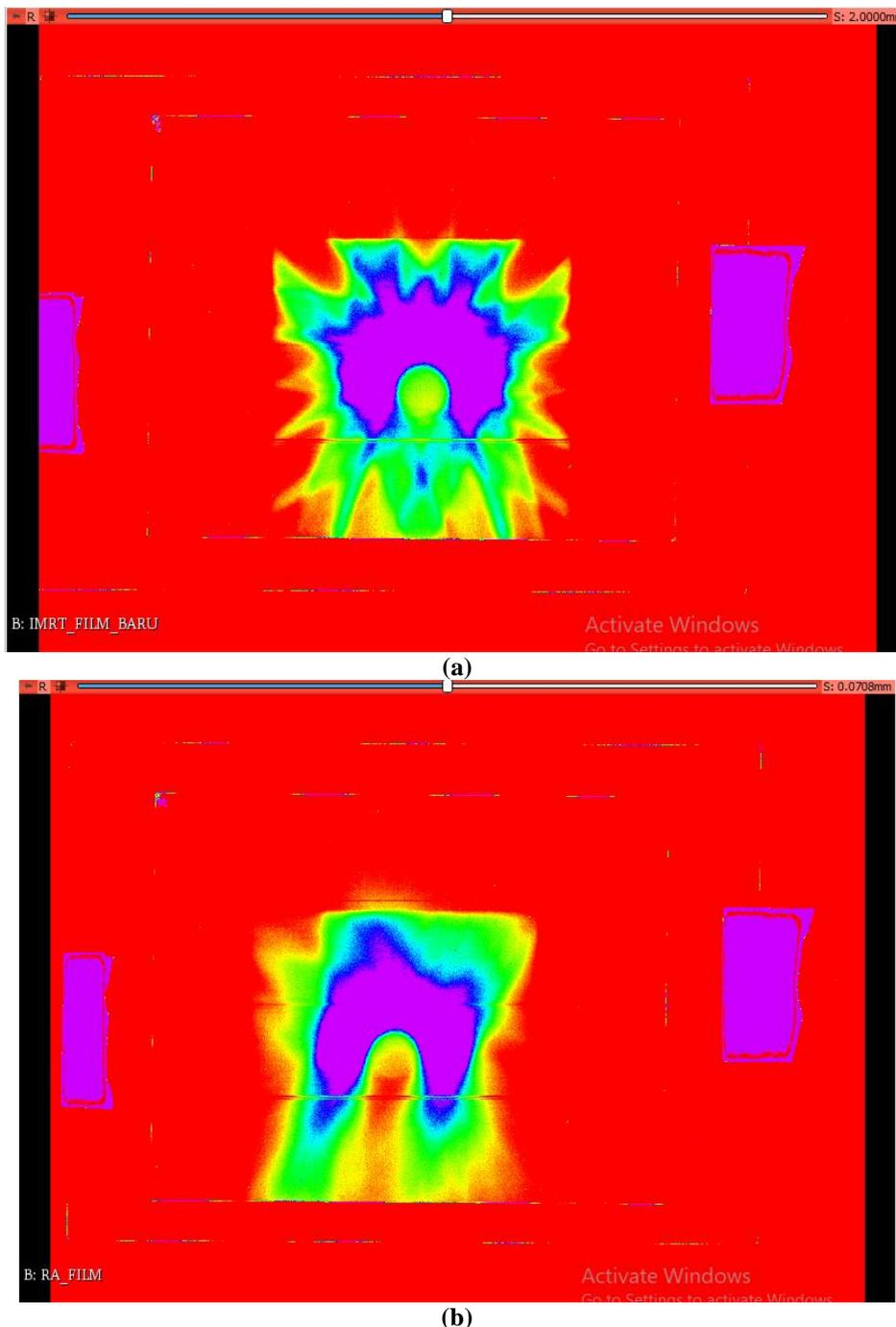
Distribusi dosis hasil perencanaan TPS disimpan dalam format file dicom. Kemudian file tersebut dikonversi menjadi file nrrd sehingga nilai piksel dapat menunjukkan angka dosis. Pada file citra nrrd tersebut diambil satu *slice* ditengah citra, kemudian *slice* tersebut di *copy* menjadi 5 *slice* dan disimpan kembali dalam format file .nrrd untuk di masukkan kedalam 3D Slicer dan dibandingkan dengan citra film *gafchromic EBT3*. Hasil konversi citra perencanaan TPS dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil citra perencanaan TPS (a) teknik IMRT (b) teknik RapidArc

Gambar 11 menunjukkan hasil citra pengukuran film *gafchromic EBT3*. Untuk mendapatkan citra pengukuran film tersebut, film yang sudah diradiasi dipindai sebanyak lima kali menggunakan *scanner* dan menghasilkan citra film dengan format file tif. Hasil pemindaian film kemudian diolah

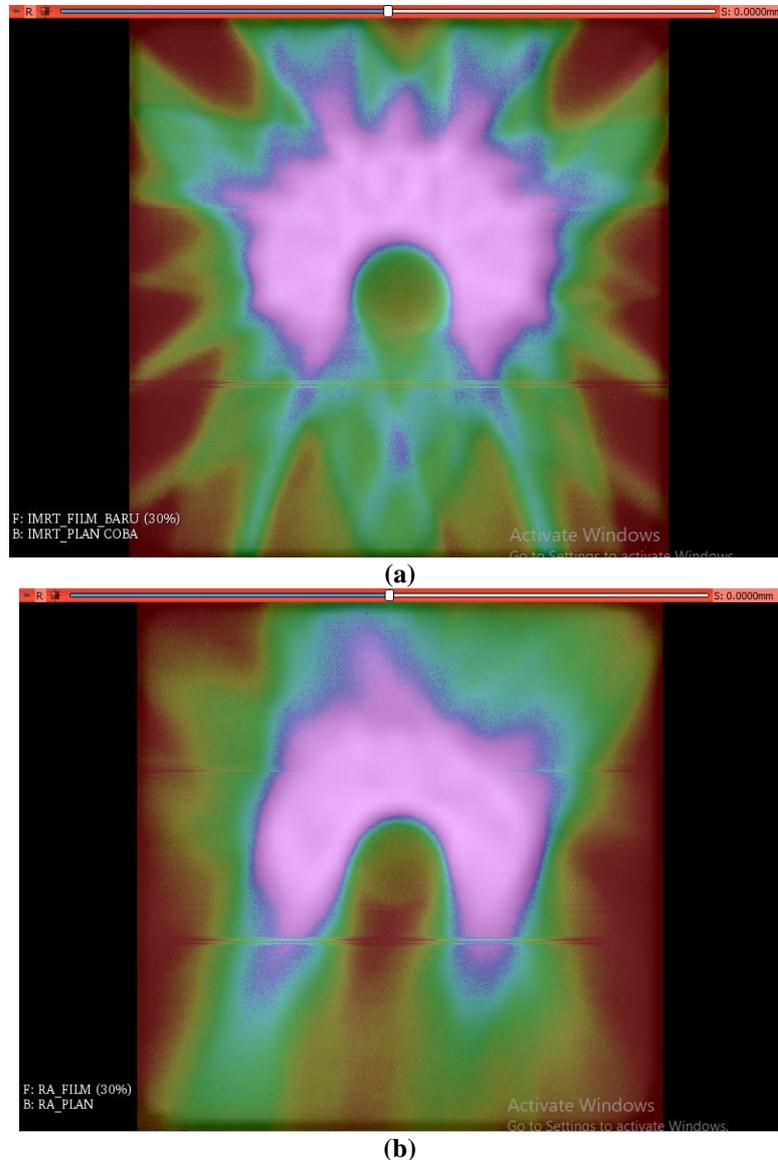
menggunakan MATLAB untuk menghitung dosis dari film yang akan disimpan dalam format txt. Citra tersebut selanjutnya diolah menggunakan ImageJ untuk di *copy* menjadi 5 *slice* dan disimpan dalam format file nrrd untuk dimasukkan ke 3D Slicer.



Gambar 12. Hasil citra pengukuran film *gafchromic EBT3* (a) teknik IMRT (b) teknik RapidArc

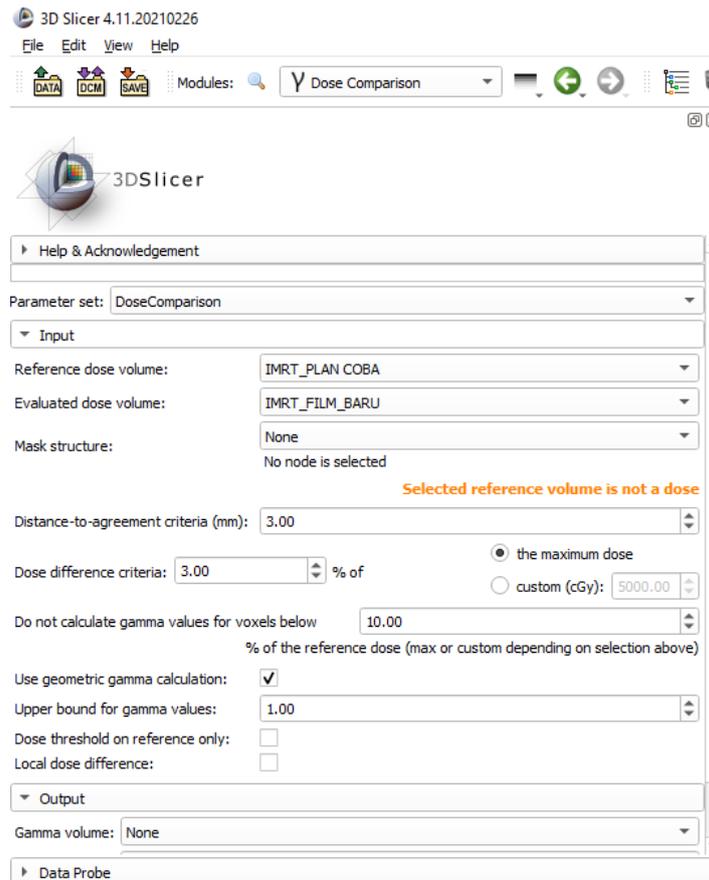
Setelah hasil citra perencanaan TPS dan pengukuran pada film *gafchromic EBT3* diperoleh, kedua citra tersebut kemudian dimasukkan ke 3D Slicer untuk digabungkan. Citra hasil pengukuran film memiliki skala yang lebih besar dibandingkan citra hasil perencanaan TPS. Untuk itu dilakukan pengaturan untuk menyesuaikan skala kedua citra tersebut dengan cara mengubah *image spacing* pada citra hasil pengukuran film tersebut. Setelah kedua citra memiliki skala yang sama, kemudian citra digabungkan untuk menyesuaikan posisi kedua citra dengan cara mengubah *image origin* (posisi)

pada citra hasil pengukuran. Gambar 12 menunjukkan hasil penggabungan kedua citra dengan ukuran, posisi, dan bentuk yang sama, dimana citra hasil perencanaan TPS sebagai *background* yang diberi warna *grey* dan citra hasil pengukuran film sebagai *foreground* yang diberi warna *rainbow*. Pemberian warna dilakukan agar lebih mudah untuk membandingkan kedua citra.



Gambar 12. Gabungan citra film dengan perencanaan TPS (a) teknik IMRT (b) teknik RapidArc

Setelah citra digabungkan, dilakukan perbandingan dosis dengan metode evaluasi gamma menggunakan modul *Dose Comparison*. Pada Gambar 13 terdapat beberapa pengaturan untuk melakukan evaluasi gamma. Citra hasil perencanaan pada TPS sebagai volume dosis referensi dan citra hasil pengukuran film sebagai volume dosis evaluasi (pembanding). Kriteria *Dose Difference* (DD) dan *Dose to Agreement* (DTA) yang digunakan ada penelitian ini adalah 3% 3mm dan 2% 2mm. Batas atas untuk nilai gamma yang digunakan adalah 1.00, jika nilai gamma lebih tinggi dari nilai ini, maka nilai 1.00 ditetapkan sebagai gantinya.

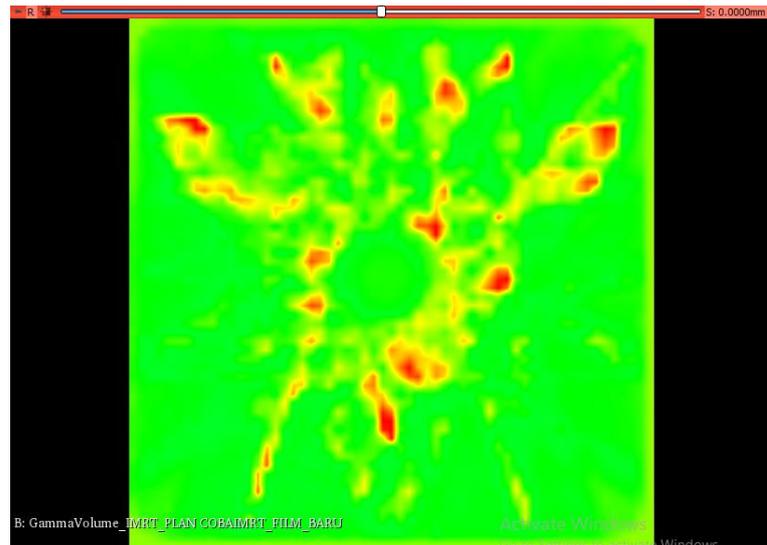


Gambar 13. Tampilan pengaturan untuk evaluasi gamma

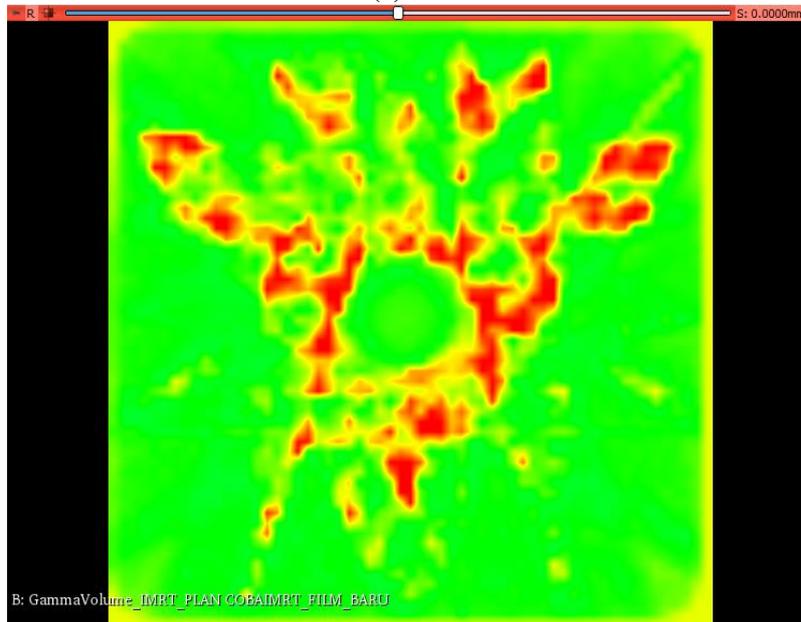
Tabel 4 Hasil perbandingan dosis dengan metode evaluasi gamma

Kriteria Gamma DD/DTA	Indeks Gamma Volume			
	IMRT		RapidArc	
	Uji Kriteria Toleransi	Tingkat Akurasi (%)	Uji Kriteria Toleransi	Tingkat Akurasi (%)
2%/2mm	≤ 1	100%	≤ 1	100%
3%/3mm	≤ 1	100%	≤ 1	100%

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh hasil evaluasi gamma pada teknik IMRT dengan kriteria DD 3% dan DTA 3 mm yang berupa nilai indeks gamma volume ≤ 1 menunjukkan bahwa hasil tersebut lulus uji kriteria toleransi dengan tingkat akurasi distribusi dosis sebesar 100%. Nilai akurasi distribusi dosis tersebut menunjukkan bahwa kesesuaian distribusi dosis antara perencanaan TPS dengan pengukuran film *gafchromic EBT3* sesuai ketentuan AAPM TG-119 ($\geq 95\%$). Evaluasi gamma pada teknik yang sama dengan kriteria DD 2% dan DTA 2 mm juga memiliki hasil yang sama dengan kriteria sebelumnya, yaitu indeks gamma volume ≤ 1 dan tingkat akurasi distribusi dosis sebesar 100%. Citra hasil evaluasi gamma pada teknik IMRT dengan kedua kriteria tersebut dapat dilihat pada Gambar 14.



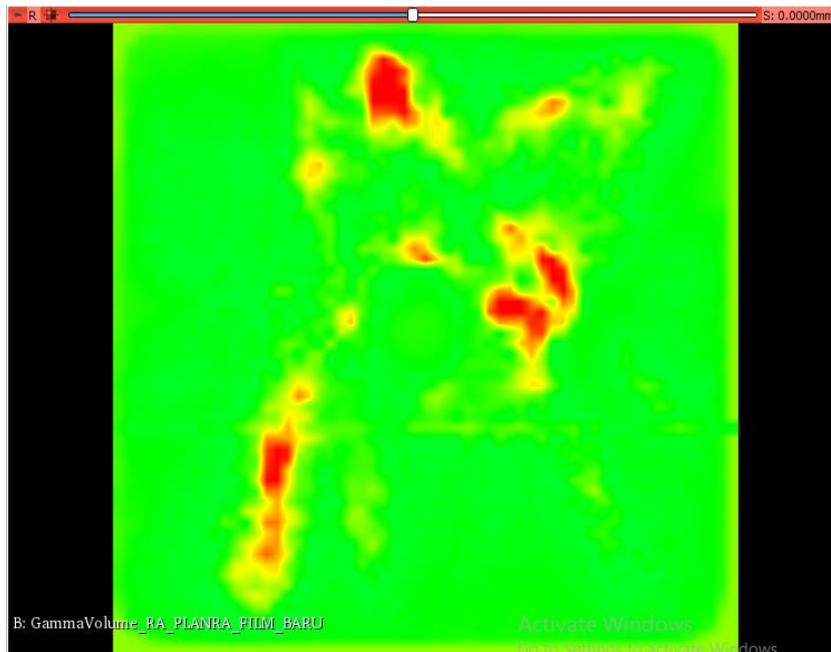
(a)



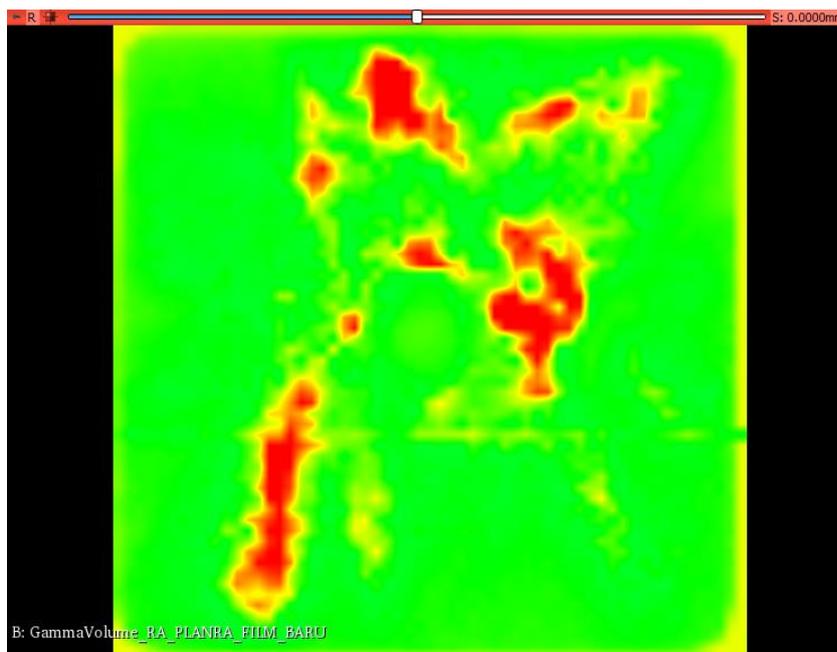
(b)

Gambar 14. Hasil citra evaluasi gamma teknik IMRT (a) DD 3% dan DTA 3 mm (b) DD 2% dan DTA 2 mm

Pada Tabel 4 juga diperoleh hasil evaluasi gamma yang berupa nilai indeks gamma volume ≤ 1 pada teknik RapidArc dengan kriteria DD 3% dan DTA 3 mm, yang menunjukkan bahwa hasil tersebut lulus uji kriteria toleransi dengan tingkat akurasi distribusi dosis sebesar 100%. Persentase akurasi tersebut berarti kesesuaian distribusi dosis antara perencanaan TPS dengan pengukuran film *gafchromic EBT3* sesuai dengan ketentuan AAPM TG-119 ($\geq 95\%$). Evaluasi gamma juga dilakukan pada teknik yang sama dengan kriteria DD 2% dan DTA 2 mm, dimana hasil yang diperoleh sama dengan kriteria sebelumnya, yaitu indeks gamma volume ≤ 1 dengan tingkat akurasi distribusi dosis sebesar 100%. Citra hasil evaluasi gamma pada teknik IMRT dengan kedua kriteria tersebut dapat dilihat pada Gambar 15.



(a)



(b)

Gambar 15. Hasil citra evaluasi gamma teknik IMRT (a) DD 3% dan DTA 3 mm (b) DD 2% dan DTA 2 mm

PENUTUP

Kesimpulan dari penelitian ini adalah Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa hasil verifikasi distribusi dosis yang dilakukan menggunakan C-Shape phantom isian udara pada teknik IMRT dan RapidArc dengan kriteria gamma 3% 3 mm dan 2% 2 mm diperoleh nilai indeks gamma volume yang sama yaitu ≤ 1 yang dinyatakan lulus uji kriteria toleransi dengan keakuratan distribusi dosis yang sama sebesar 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kesesuaian distribusi dosis antara perencanaan pada TPS dengan pengukuran menggunakan film

gafchromic EBT3 pada teknik IMRT dan RapidArc dengan kriteria gamma 3% 3mm dan 2% 2mm sudah sesuai dengan ketentuan AAPM TG-119 dimana verifikasi dinilai lulus uji jika tingkat akurasi lebih dari 95%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan pada ketua jurusan Fisika, Dekan Fakultas Teknik dan Sains, Rektor Universitas Nasional dan Kepala BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) berkat dukungan dari mereka semua, penelitian ini bisa diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cancer [Internet]. 2021 [cited 2021 Nov 30]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer>
- Fikriyah F. Verifikasi Distribusi Dosis 2D Teknik Imrt Pada Fantom Inhomogen. 2021; Indonesia. GLOBOCAN 2020.
- Kaviarasu K, Nambi Raj N, Hamid M, Giri Babu A, Sreenivas L, Murthy K. *Verification of dosimetric commissioning accuracy of intensity modulated radiation therapy and volumetric modulated arc therapy delivery using task Group-119 guidelines. Vol. 42, Journal of Medical Physics. Medknow Publications; 2017. p. 258–65.*
- Leszczyński W, Ślosarek K, Szlag M. *Comparison of dose distribution in IMRT and RapidArc technique in prostate radiotherapy. Reports of Practical Oncology and Radiotherapy. 2012;17(6):347–51.*
- Nainggolan A, Pawiro SA. *Dosimetric evaluation of volumetric modulated arc therapy (VMAT) and intensity modulated radiotherapy (IMRT) using AAPM TG 119 protocol. Journal of Biomedical Physics and Engineering. 2019 Aug 1;9(4):395–408.*
- Safety Reports Series No. 17.
- Scholarworks@gvsu S, Cash A v. *Comparison of Hybrid, IMRT and VMAT techniques for Treating Comparison of Hybrid, IMRT and VMAT techniques for Treating Right Lung Cancer-A Scientific Review Right Lung Cancer-A Scientific Review ScholarWorks Citation ScholarWorks Citation [Internet]. Health Sciences Commons; 2021. Available from: <https://scholarworks.gvsu.edu/gradprojects>*