

ANALISIS PERBEDAAN HASIL PERHITUNGAN DOSIS RADIASI KALENJAR PAROTIS PADA KASUS KARSINOMA NASOFARING DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK RADIOTERAPI IMRT DAN VMAT

Kadek Yuda Astina¹, Ngakan Putu Daksa², Santi Hutagalung³

^{1,3}Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Indonesia

²Instalasi Radioterapi, RSUP Prof Ngoerah

Email: yudaastina@atro-bali.ac.id¹, ngakandaksa@gmail.com²,
hutagalungsanti91@gmail.com³

ABSTRAK

Karsinoma nasofaring merupakan jenis kanker yang berasal dari sel epitel nasofaring, yaitu area belakang hidung di atas langit-langit mulut dan di belakang tulang hidung. Pengobatan kasus karsinoma nasofaring dapat dilakukan dengan radioterapi. Mayoritas pasien karsinoma nasofaring menjalani pengobatan dengan teknik Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT) dan Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan dosis radiasi Organ at Risk (OAR) khususnya pada kelenjar parotis pada pasien karsinoma nasofaring dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan data retrospektif. Sampel terdiri dari 10 data sekunder pasien karsinoma nasofaring yang menjalani terapi radiasi di Lynac Synergy menggunakan teknik IMRT dan VMAT. Analisis menggunakan uji Wilcoxon mengenai perbedaan perhitungan dosis radiasi pada kelenjar parotis antara teknik IMRT dan VMAT pada pasien Karsinoma Nasofaring didapatkan hasil Asymp. Nilai Sig (2-tailed) adalah 0,000 yang berarti angka tersebut kurang dari 0,05. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua teknik tersebut. Selanjutnya hasil rata-rata rangking menunjukkan bahwa teknik VMAT mempunyai rata-rata rangking 11,82, sedangkan teknik IMRT mempunyai rata-rata rangking 17. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa teknik VMAT memberikan dosis radiasi yang lebih rendah pada kelenjar parotis. dibandingkan dengan teknik IMRT, dengan perbandingan 17:3. Kesimpulan ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik VMAT memiliki beberapa keuntungan antara lain durasi terapi yang lebih singkat dan pemberian dosis radiasi sesuai dengan target volume yang telah ditentukan. Penelitian ini menyimpulkan terdapat perbedaan yang signifikan perhitungan dosis radiasi kelenjar parotis menggunakan teknik IMRT dan VMAT pada pasien karsinoma nasofaring. Teknik VMAT memberikan dosis radiasi yang lebih rendah dibandingkan dengan teknik IMRT.

Kata Kunci: Karsinoma Nasofaring, Radioterapi, IMRT, VMAT.

ABSTRACT

Nasopharyngeal carcinoma is a type of cancer originating from the epithelial cells of the nasopharynx, the area behind the nose above the roof of the mouth and behind the nasal bone. Treatment for nasopharyngeal carcinoma cases can be carried out with radiotherapy. The majority of nasopharyngeal carcinoma patients undergo treatment using Intensity-Modulated

Radiation Therapy (IMRT) and Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) techniques. This study aims to compare the calculation of Organ at Risk (OAR) radiation doses in particular to the parotid glands in nasopharyngeal carcinoma patients using IMRT and VMAT techniques. This research is a descriptive quantitative study with a retrospective data approach. The sample consists of 10 secondary data from nasopharyngeal carcinoma patients who underwent radiation therapy at Lynac Synergy using IMRT and VMAT techniques. The analysis using the Wilcoxon test regarding the difference in radiation dose calculations in the parotid glands between IMRT and VMAT techniques in patients with Nasopharyngeal Carcinoma found that the Asymp. Sig (2-tailed) value was 0.000, which means this figure is less than 0.05. This indicates a significant difference between the two techniques. Furthermore, the average rank results showed that the VMAT technique had an average rank of 11.82, while the IMRT technique had an average rank of 17. From these results, it can be concluded that the VMAT technique delivers a lower radiation dose to the parotid glands compared to the IMRT technique, with a ratio of 17:3. This conclusion suggests that the use of the VMAT technique has several advantages, including shorter therapy duration and the delivery of radiation doses in accordance with the predetermined target volume. This study concludes that there is a significant difference in the calculation of radiation doses to the parotid glands using IMRT and VMAT techniques in nasopharyngeal carcinoma patients. The VMAT technique delivers a lower radiation dose compared to the IMRT technique.

Keywords: *Nasopharyngeal Carcinoma, Radiotherapy, IMRT, VMAT.*

A. PENDAHULUAN

Karsinoma nasofaring adalah jenis kanker yang berasal dari sel epitel nasofaring, yaitu daerah belakang hidung di atas langit-langit mulut dan di belakang tulang hidung. Berdasarkan data *Global Cancer Observatory (GLOBOCAN)* pada tahun 2020, KNF menempati urutan ke-17 sebagai jenis kanker yang paling umum diderita oleh pria di seluruh dunia, dengan 2,2% kasus baru terjadi setiap tahun per 100.000 penduduk. KNF jarang ditemukan di Amerika dan Eropa, namun sering terjadi di beberapa negara di Asia dan Afrika Utara. Asia Tenggara memiliki tingkat insiden KNF tertinggi di dunia, yaitu 7,8 kasus baru per 100.000 penduduk (*H.Sung et al, 2020*).

Penyebaran KNF memiliki karakteristik yang unik karena tergantung pada faktor ras dan geografis, sehingga faktor genetik dan lingkungan diyakini berkontribusi terhadap penyebab KNF. Di Indonesia, kanker nasofaring merupakan salah satu jenis keganasan yang sering ditemukan dan berada pada urutan ke-4 kanker kepala leher terbanyak setelah kanker payudara, kanker servix, dan kanker paru. Tingkat kanker nasofaring yang relatif tinggi telah dilaporkan, setidaknya sebesar 5,7 per 100.000 pada pria dan 1,9 per 100.000 pada wanita, dibandingkan dengan tingkat insidensi global sebesar 1,9 per 100.000 pada pria dan 0,8 per 100.000 pada Wanita (*H. Salehiniya, 2018*).

Radioterapi dilakukan dengan radiasi eksterna, dapat menggunakan *Linear Accelerator (LINAC)*. Pesawat LINAC merupakan pesawat radioterapi berenergi tinggi yang mempunyai multienergi berkas elektron dan foton, yaitu energi elektron untuk keperluan radioterapi adalah berkisar 4-22 MV dan untuk energi foton adalah 6-8 MV (*M.A Al Mashud et al, 2017*). Perencanaan penyinaran pada kanker nasofaring haruslah memperhatikan posisi dan

immobilisasi pasien. Perlindungan organ sehat atau *Organ at Risk* (OAR) seperti mata, lobus temporal, batang otak, sumsum tulang belakang, optic saraf, kelenjar parotis, kelenjar submandibular, hiposis diperhatikan pada saat dilakukan penyinaran kanker nasofaring. Bagian khusus yang harus diperhatikan dalam penyinaran ini adalah penerimaan dosis yang berlebihan pada daerah kelenjar parotis disekitar nasofaring. (X. Yao, 2019)

Kemajuan yang sangat penting pada radioterapi kanker nasofaring adalah *Intensity Modulated Radiotherapy* (IMRT). Penyinaran dengan teknik IMRT adalah teknik radioterapi yang memanfaatkan posisi sudut *gantry* tertentu dan MLC (*Multi Leaf Collimator*) untuk mengatur besar kecilnya intensitas radiasi, sehingga distribusi dosis radiasi yang tepat dan terukur untuk tumor target, sementara memberikan dosis yang relative rendah ke organ sehat disekitar tumor target. Penyinaran teknik IMRT diberikan dengan pengoperasian yang tersegmen atau biasa disebut *step and shoot*, di mana MLC akan membuat bidang sesuai dengan bentuk target, lalu radiasi akan keluar setelah MLC selesai membentuk target, setelah itu MLC bergerak menutupi bagian yang sudah cukup dosisnya dan berkas sinar radiasi akan berhenti, kemudian gantry dan MLC bergerak membuat bidang target yang baru (K. Faiz M et al, 2019)

Saat ini telah dikembangkan juga teknik *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT) pada radioterapi kanker nasofaring. VMAT beroperasi dengan menyesuaikan kecepatan rotasi gantri, laju dosis, dan bentuk kolimator *multileaf* (MLC) yang bertujuan untuk menghasilkan pola intensitas modulasi. (U. Akbas,2019)

Berdasarkan hasil observasi di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung terdapat modalitas LINAC Synergy yang digunakan dalam teknik IMRT dan VMAT memiliki jumlah pasien yang mencapai 150 pasien per bulan dengan pasien karsinoma nasofaring sebanyak 30 pasien per bulan. Sebagian besar penyinaran untuk pasien karsinoma nasofaring di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung menggunakan teknik VMAT dikarenakan *treatment time* yang cepat dan dosis yang lebih *conformal*. Hanya beberapa pasien karsinoma nasofaring menggunakan teknik IMRT dikarenakan sesuai pertimbangan dosis organ at risk dan stadium yang diderita pasien.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan perhitungan dosis *Organ at Risk* (OAR) pada planning/perencanaan radiasi khususnya di kelenjar parotis pada karsinoma nasofaring dengan teknik IMRT dan VMAT di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung. Oleh karena hal itu, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul Analisis Perbedaan Hasil Perhitungan Dosis Radiasi Kelenjar Parotis pada Kasus Karsinoma Nasofaring dengan Menggunakan Teknik Radioterapi IMRT dan VMAT.

B. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan mengambil data sekunder yaitu hasil perhitungan dosis radiasi di kelenjar parotis pada kasus Karsinoma Nasofaring dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT. Objek penelitian terdiri dari seluruh pasien karsinoma nasofaring yang melakukan penyinaran dengan teknik IMRT dan VMAT selama Juni-July 2023 yang berjumlah 10 pasien. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juni-July 2023 di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung .

Data dikumpulkan melalui data hasil perhitungan dosis radiasi kelenjar parotis pada karsinoma nasofaring di computer TPS dan dicatat pada lembar observasi dalam bentuk table. Selanjutnya data tersebut dianalisis dengan uji deskriptif untuk mencari *mean* pada dosis radiasinya. Setelah diketahui *mean* dari masing-masing teknik, kemudian dilakukan perbandingan pada teknik tersebut .

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni-July 2023 di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung pada 10 data pasien karsinoma nasofaring dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT yang sudah ada (retrospektif).

Tabel 1. Perhitungan dosis radiasi Kelenjar Parotis di TPS

Pasien	Teknik IMRT (cGy)		Teknik VMAT (cGy)	
	Dextra	Sinistra	Dextra	Sinistra
A	2978,7	3106,7	9984	1342
B	3130,8	2967,0	1368	1392
C	3010,8	3025,3	1156,2	1083,3
D	3463,8	3119,1	1454,4	1094,7
E	2976,5	3156,1	1349,7	1446
F	3963,2	3983,9	2077,2	2265,3
G	2987,0	3134,8	9855	1389,9
H	1950,0	1736,6	1671,6	2098,1
I	2919,3	2982,3	1153,2	978
J	2922,6	3021,4	1031,4	9033
Rata-Rata	285477	302332	132456	93504
Dosis Min	1950	1736,6	9855	9033
Dosis Max	3963,2	3983,9	2077,2	2265,3

Data pasien yang didapatkan akan dilakuakn uji statistic untuk mengetahui perbedaan hasil perhitungan dosis radiasi pada kalenjar parotis dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT dan diolah serta dianalisis dengan SPSS 26

a. Hasil Uji Normalitas Kelenjar Parotis Kanan dan Kiri

Uji Normalitas bertujuan untuk mengetahui bahwa data sampel berdistribusi dengan normal atau tidak normal. Dalam penelitian ini kedua teknik dari masing masing hasil tersebut digabungkan untuk diuji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk*, dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Uji Normalitas

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Dosis IMRT Kanan	.403	10	.000	.726	10	
Dosis Vmat Kanan	.236	10	.123	.935	10	

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Dosis IMRT Kiri	.388	10	.000	.740	10	.003
Dosis Vmat Kiri	.234	10	.129	.871	10	.102

Dari 10 data yang diperoleh pada uji normalitas kelenjar parotis kanan dan kiri menggunakan metode *Shapiro-Wilk* signifikan < 0,05 maka dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal.

Tabel 3 Uji Descriptive Descriptives

Dosis IMRT Kanan	Mean	25859.40	4031.017
	Minimum	1950	
	Maximum	39632	
Dosis Vmat Kanan	Mean	12014.40	1608.511
	Minimum	1368	
	Maximum	20772	

Dari hasil uji descriptive dapat disimpulkan bahwa rata-rata nilai dosis radiasi pada kelenjar parotis kanan dengan teknik IMRT adalah 26Gy dengan minimum dosis 19 Gy dan dosis maximum 39Gy. Sementara pada teknik VMAT dosis rata-rata yang dihasilkan 12Gy dengan dosis minimum 13Gy dan dosis maksimum 20 Gy.

Descriptives

Dosis IMRT Kiri	Mean	27562.90	3222.774
	Minimum	2967	
	Maximum	39839	
Dosis Vmat Kiri	Mean	9350.30	2577.318
	Minimum	978	
	Maximum	22653	

Dari hasil uji descriptive dapat disimpulkan bahwa rata-rata nilai dosis radiasi pada kelenjar parotis kiri dengan teknik IMRT adalah 27Gy dengan minimum dosis 29 Gy dan dosis maximum 39Gy. Sementara pada teknik VMAT dosis rata-rata yang dihasilkan 9Gy dengan dosis minimum 9Gy dan dosis maksimum 22 Gy.

b. Hasil Uji Wilcoxon Parotis Kanan dan Kiri

Tabel 4 Hasil Uji Wilcoxon Test Statistics

Test Statistics^a	
Dosis Vmat Kiri - Dosis IMRT Kiri	
Z	-2.599 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.009
Test Statistics^a	
Dosis Vmat Kanan - Dosis IMRT Kanan	
Z	-2.497 ^b
Asymp. Sig. (2-tailed)	.013

Dari hasil uji *Wilcoxon* kelenjar parotis kanan dan kiri dapat disimpulkan nilai p-value < 0.05 yang dimana adanya perbedaan yang signifikan pada hasil perhitungan nilai dosis radiasi kelenjar parotis kanan dan kiri dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT. Nilai Asymp adalah <0.05 yang dapat disimpulkan yaitu Ha diterima dan Ho ditolak.

c. Hasil Uji menggunakan teknik IMRT dan VMAT yang paling efisien

Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil perhitungan dosis radiasi pada kelenjar parotis menggunakan teknik IMRT dan VMAT maka dapat disimpulkan nilai mean rank pada hasil uji Wilcoxon sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Uji Mean Ranks

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Dosis Vmat Kanan - Dosis IMRT Kanan	Negative Ranks	8 ^a	6.50	52.00
	Positive Ranks	2 ^b	1.50	3.00
Total		10		

a. Dosis Vmat Kanan < Dosis IMRT Kanan

b. Dosis Vmat Kanan > Dosis IMRT Kanan

c. Dosis Vmat Kanan = Dosis IMRT Kanan

Dari data tabel 8, dapat dinyatakan bahwa kelenjar parotis kanan memiliki nilai sebanyak (8a) *sum of ranks* 52.00 lebih besar daripada nilai (2b) *sum of ranks* 3.00 dimana ini menandakan dosis pada teknik IMRT lebih besar daripada dosis dengan menggunakan teknik VMAT. Hasil mean rank menyatakan penggunaan teknik VMAT lebih baik dibandingkan IMRT

		N	Mean Rank	Sum of Ranks
Dosis Vmat Kiri - Dosis IMRT Kiri	Negative Ranks	9 ^a	5.89	53.00
	Positive Ranks	1 ^b	2.00	2.00
	Total	10		

a. Dosis Vmat Kiri < Dosis IMRT Kiri

b. Dosis Vmat Kiri > Dosis IMRT Kiri

c. Dosis Vmat Kiri = Dosis IMRT Kiri

Sementara hasil mean rank pada kelenjar parotis kiri, dapat dinyatakan bahwa kelenjar parotis kiri memiliki nilai sebanyak (9a) *sum of ranks* 53.00 lebih besar daripada nilai (1b) *sum of ranks* 2.00 dimana ini menandakan dosis pada teknik IMRT lebih besar daripada dosis dengan menggunakan teknik VMAT. Hasil mean rank menyatakan penggunaan VMAT lebih baik dibandingkan IMRT.

Hasil perhitungan dosis radiasi kelenjar parotis pada karsinoma nasofaring dengan menggunakan teknik VMAT dan IMRT di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung.

Hasil perhitungan dosis radiasi pada kelenjar parotis dengan menggunakan teknik IMRT dan VMAT menjadi tujuan utama penelitian ini khususnya pada pasien penderita Karsinoma Nasofaring di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung .

Teknik IMRT merupakan teknik radioterapi 3D-CRT tahap lanjut yang memberikan radiasi dengan konformalitas tinggi terhadap target radiasi yang bentuknya sederhana maupun kompleks, di mana setiap berkas sinar mempunyai intensitas inhomogen karena pengaturan berkas sinar dan intensitas setiap berkas sinar dilakukan secara terkomputerisasi. Sementara teknik VMAT merupakan teknik radiasi yang memungkinkan distribusi dosis yang sangat sesuai dengan volume target atau organ at risk (OAR) dibandingkan teknik radioterapi konvensional (S.H.Lu et al, 2013).

Dari hasil uji descriptive dapat disimpulkan bahwa rata-rata nilai dosis radiasi pada kelenjar parotis kanan dengan teknik IMRT adalah 26Gy dengan minimum dosis 19 Gy dan dosis maximum 39Gy. Sementara pada teknik VMAT dosis rata-rata yang dihasilkan 12Gy dengan dosis minimum 13Gy dan dosis maksimum 20 Gy. Dari hasil uji descriptive pada kelenjar parotis kiri dapat disimpulkan bahwa rata-rata nilai dosis radiasi dengan teknik IMRT adalah 27Gy dengan minimum dosis 29 Gy dan dosis maximum 39Gy. Sementara pada teknik VMAT dosis rata-rata yang dihasilkan 9Gy dengan dosis minimum 9Gy dan dosis maksimum 22 Gy.

Berdasarkan data penelitian di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Bandung, terlihat bahwa rata-rata dosis yang diterima kelenjar parotis dengan menggunakan teknik IMRT adalah lebih tinggi dibandingkan dengan VMAT. Teknik IMRT memiliki kelebihan yaitu dapat memberikan dosis radiasi yang sangat sesuai dengan bentuk tumor, tetapi dalam beberapa kasus dapat mengakibatkan dosis yang lebih tinggi ke organ-organ sekitar, tergantung pada kompleksitas anatomis pasien (N. Lee et al, 2012).

Faktor-faktor lain, seperti ukuran tumor, lokasi anatomis, dan karakteristik biologis dari tumor, juga memiliki peran penting. Misalnya, tumor yang lebih besar atau yang berada di

lokasi yang lebih sulit dijangkau mungkin memerlukan pendekatan khusus dalam perencanaan dosis. Karakteristik biologis tumor, seperti laju pertumbuhan dan sensitivitas terhadap radiasi, juga dapat mempengaruhi pemberian dosis yang tepat. Selain itu, kebutuhan dan kenyamanan pasien, termasuk durasi pengobatan dan efek samping potensial, harus dipertimbangkan (*C.M Nutting et al, 2011*)

Perbedaan hasil perhitungan dosis radiasi kelenjar parotis pada karsinoma nasofaring dengan menggunakan teknik VMAT dan IMRT

Dari hasil perhitungan dosis radiasi kelenjar parotis pada karsinoma nasofaring menggunakan teknik VMAT dan IMRT yang peneliti lakukan dapat disimpulkan terdapat perbedaan. Dapat disimpulkan dari hasil mean rank kelenjar parotis kanan bahwa nilai (8a) dengan mean ranks 6.50 lebih besar daripada nilai (2b) dengan mean ranks 3.00 sementara hasil mean rank pada kelenjar parotis kiri, memiliki nilai sebanyak (9a) dengan mean rank 5.89 lebih besar daripada nilai (1b) dengan mean rank 2.00 dimana ini menandakan dosis pada teknik IMRT lebih besar daripada dosis dengan menggunakan teknik VMAT. Hasil mean rank menyatakan penggunaan VMAT lebih baik dibandingkan IMRT.

Dari hasil ini bisa disimpulkan keuntungan yang diberikan dengan menggunakan teknik VMAT termasuk pemberian waktu terapi yang singkat dan pemberian dosis radiasi yang sesuai dengan target volume yang sudah ditentukan menjadikannya pilihan yang berguna untuk meningkatkan kualitas pelayanan kepada pasien KNF dan meningkatkan kenyamanan pasien pada saat terapi radiasi.

Hasil penelitian lain menemukan bahwa VMAT, dengan kemampuannya untuk memodulasi intensitas sinar dalam setiap sudut penyinaran, memiliki potensi untuk memberikan dosis yang lebih homogen ke target sambil meminimalkan dosis ke organ at risk (OAR), seperti kelenjar parotis (*Bzdusek et al, 2017*)

Namun, saat memilih teknik terbaik, bukan hanya efikasi yang perlu dipertimbangkan. VMAT juga menunjukkan keunggulan dalam mengurangi efek samping akut dan jangka panjang, yang menjadi pertimbangan kunci dalam pengobatan KNF (*Y.Jeong et al, 2014*)

Dengan mempertimbangkan data statistik dari Uji Wilcoxon dan bukti-bukti literatur terbaru, VMAT memang menawarkan keunggulan dalam pengobatan KNF. Teknik ini tidak hanya efisien dalam waktu tetapi juga memastikan bahwa dosis radiasi disampaikan dengan presisi yang lebih tinggi, mengoptimalkan hasil pengobatan sambil meminimalkan risiko bagi pasien.

D. KESIMPULAN

1. Berdasarkan uji normalitas dapat dilihat pada hasil deskriptif bahwa rata-rata nilai dosis radiasi pada kelenjar parotis kanan dan kiri dengan teknik IMRT lebih besar dibandingkan dengan teknik VMAT.
2. Berdasarkan hasil Uji Wilcoxon terkait perbedaan dalam perhitungan dosis radiasi pada kelenjar parotis kanan dan kiri antara teknik IMRT dan VMAT pada pasien dengan Karsinoma Nasofaring memiliki nilai lebih kecil dari 0.05 yang diartikan bahwa kedua teknik tersebut memiliki perbedaan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Y. P. Chen, A. T. C. Chan, Q. T. Le, P. Blanchard, Y. Sun, and J. Ma, "Nasopharyngeal carcinoma," *Lancet*, vol. 394, no. 10192, pp. 64–80, 2019, doi: 10.1016/S0140-6736(19)30956-0.
- H. Sung *et al.*, "Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries," *CA. Cancer J. Clin.*, vol. 71, no. 3, pp. 209–249, 2021, doi: 10.3322/caac.21660.
- M. A. Al Mashud, M. Tariquzzaman, M. Jahangir Alam, and G. Zakaria, "Photon beam commissioning of an Elekta Synergy linear accelerator," *Polish J. Med. Phys. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 115–119, 2017, doi: 10.1515/pjmpe-2017-0019.
- X. Yao, G. Gong, G. Zuo, J. Ren, M. Su, and Y. Yin, "Study of the dose-volume parameters variation in tumor target volumes and organs at risk during nasopharyngeal carcinoma radiotherapy applying deformation registration," *Transl. Cancer Res.*, vol. 8, no. 8, pp. 2886–2892, 2019, doi: 10.21037/tcr.2019.11.06.
- K. Faiz M. and G. John P., *The Physics of Radiation Therapy*, 5th ed. Lippincott Williams & Wilkins, 2014.
- U. Akbas, C. Koksak, N. D. Kesen, K. Ozkaya, H. Bilge, and M. Altun, "Nasopharyngeal carcinoma radiotherapy with hybrid technique," *Med. Dosim.*, vol. 44, no. 3, pp. 251–257, 2019, doi: 10.1016/j.meddos.2018.09.003.
- A. C. Romdhoni, F. F. Alkaff, M. Kahdina, M. Masturina, and R. Ramadhani, "Radiotherapy Effect on Complete Blood Count Parameter in Patients With Nasopharyngeal Carcinoma," *Int. J. Nasopharyngeal Carcinoma*, vol. 2, no. 01, pp. 07–09, 2020, doi: 10.32734/ijnpc.v2i01.3505.
- McDermott P.N., *Tutorials in Radiotherapy Physics: Advanced Topics with Problems and Solutions (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315381961>. 2016.