

**RADIOTERAPI SEBAGAI JEMBATAN ANTARA FISIKA DAN KEDOKTERAN:
TANTANGAN DAN INOVASI KHUSUSNYA DALAM MENGATASI PENYAKIT
KANKER**

Farizka Khairani^{1*}, Anggi Nurjannah², Cristin Imelia Sihotang³, Derlina⁴

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara, Indonesia

Jl. Willem Iskandar Pasar V Kenangan Baru, Percut Sei Tuan, Deli Serdang, Indonesia, 20221

*Email : farizkakhairani@gmail.com

Abstrak

Radioterapi adalah terapi penting untuk mengobati kanker dengan menggunakan radiasi berenergi tinggi untuk membunuh sel kanker sambil menjaga jaringan sehat tetap aman. Meskipun efektif, tantangan utamanya adalah memastikan dosis radiasi yang tepat dan melindungi organ di sekitarnya. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan studi literatur untuk menganalisis tantangan dalam radioterapi dan mengeksplorasi inovasi terbaru. Fokus utama pada penelitian ini adalah evaluasi teknik canggih seperti 3D-CRT dan IMRT untuk meningkatkan akurasi dosis, serta potensi penggunaan kecerdasan buatan (AI) dan big data dalam perencanaan perawatan untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan efisiensi. Penelitian ini memberikan pemahaman tentang manfaat dan tantangan penerapan teknologi tersebut di Indonesia. Dengan mengintegrasikan teknologi ini, diharapkan dapat mengatasi keterbatasan metode lama, memperluas akses, dan memberikan pengobatan yang lebih aman dan efektif.

Kata kunci: Radioterapi; Kanker; Teknologi Medis; Kecerdasan buatan

Received: November 2024
Reviewed: November 2024
Published: November 2024

Plagiarism Checker No 234
Prefix DOI : Prefix DOI :
10.8734/Nutricia.v1i2.365

Copyright : Author
Publish by : Nutricia



This work is licensed under
a [Creative Commons
Attribution-NonCommercial
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. Pendahuluan

Radiasi adalah perpindahan energi dari suatu sumber radiasi terhadap medium lain, di mana transmisi ini dapat berupa radiasi partikel maupun radiasi elektromagnetik. Jenis-jenis radiasi ini dihasilkan dari atom, seperti radiasi sinar tampak, sinar-X dan sinar- γ , yang dikelompokkan dalam gelombang elektromagnetik atau dikenal dengan istilah spektrum elektromagnetik. Dalam radiasi elektromagnetik, sinar-X diproduksi saat elektron berkecepatan tinggi bertabrakan dengan material yang memiliki nomor atom tinggi seperti tungsten/molibdenum pada anoda tabung sinar-X, sedangkan sinar gamma secara fisik identik dengan sinar-X, namun dipancarkan dari inti atom atau berasal dari radioactive decay seperti Cobalt-60, Radium dan Cesium. Inti atom yang tidak stabil melepaskan energi berlebihnya dalam bentuk elektron intranuklear (partikel beta) atau inti helium (sebuah partikel alfa). Jika masih memiliki kelebihan energi setelah itu, sinar gamma dipancarkan untuk mencapai steady state (keadaan konstan) (Fitriatuzzakiyyah, dkk, 2017).

Salah satu pemanfaatan dari radiasi dalam bidang medis adalah terapi radiasi atau radioterapi. Radioterapi adalah prosedur medis untuk menangani penyakit kanker dengan menggunakan sinar radiasi pengion. Menurut Fitriatuzzakiyyah (2017), radiasi pengion adalah radiasi dengan energi tinggi yang mampu melepaskan elektron dari orbit suatu atom, yang menyebabkan terbentuknya muatan atau terionisasi. Radiasi pengion terdiri dari radiasi elektromagnetik dan radiasi partikel. Radiasi pengion digunakan pada radioterapi, karena

radiasi ini dapat membentuk ion dan menyimpan energi pada sel jaringan yang melewatinya. Energi ini dapat membunuh sel kanker atau menyebabkan perubahan genetik yang dapat mengakibatkan kematian pada sel kanker (Mirfaudidin, dkk, 2023).

Kanker adalah bagian dari tumor yang bersifat ganas dikarenakan dapat menyerang organ vital pada tubuh manusia dan menyebabkan kematian. Lebih dari 100 kanker yang dapat terjadi pada manusia, seperti kanker paru-paru, kanker payudara, kanker usus besar, kanker prostat, pada darah, dan jaringan lainnya. Pada tahun 2018, kanker bertanggung jawab atas sekitar 9,6 juta kematian di seluruh dunia, menjadikannya salah satu penyebab utama kematian (Mirfaudidin, dkk, 2023). Pada tahun 2020, kasus kematian di dunia yang disebabkan oleh kanker, yaitu pada kanker paru-paru (18,0 %), kanker hati (8,3%), kanker payudara (6,9%), kanker usus besar (5,8%), kanker prostat (3,8%), dan kanker lainnya (Amda, dkk, 2023). Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk terapi kanker, yaitu pembedahan, kemoterapi atau disebut juga kemo, imunoterapi, terapi target, terapi hormon atau terapi endokrin, transplantasi sel induk dan terapi radiasi. Radioterapi atau terapi radiasi merupakan terapi non-bedah yang paling penting untuk pengobatan kuratif kanker. Radioterapi telah digunakan dalam pengobatan kanker selama lebih dari 100 tahun. Dari 10,9 juta orang yang terdiagnosis kanker di seluruh dunia setiap tahunnya, sekitar 50% memerlukan radioterapi dan 60% di antaranya diobati secara kuratif (Mirfaudidin, dkk, 2023). Radioterapi digunakan sebagai terapi tambahan setelah reseksi subtotal (STR) untuk mencegah kekambuhan. Radioterapi dapat dipilih untuk pasien yang secara medis tidak dapat dioperasi atau tidak ingin menjalani operasi (Luffianti, dkk, 2023).

Radiasi yang digunakan dalam radioterapi adalah radiasi dosis tinggi dengan tingkat energi berada dalam rentang 10 keV sampai 35 MeV. Oleh karena itu, sebelum pasien diberi perlakuan radioterapi, penting bagi fisikawan medis untuk melakukan simulasi komputer guna mengetahui pemberian dosis radiasi yang tepat (Miska, dkk, 2019). Radioterapi memiliki banyak peluang penerapan dalam perkembangan teknologi yang dapat diimplementasikan di Indonesia untuk meningkatkan kualitas pelayanan dan keberhasilan proses radioterapi seiring dengan berkembangnya penggunaan big data dan artificial intelligence (AI). Pada tahun 2018, Indonesia tercatat telah memiliki 44 Rumah Sakit yang terdapat fasilitas radioterapi dengan 66 pesawat (49 pesawat LINAC, 16 pesawat Cobalt, dan 1 pesawat Tomoterapi) (Amda, dkk, 2023).

Artikel ini bertujuan untuk memberikan gambaran mendalam mengenai tantangan dan masalah yang dihadapi dalam penerapan radioterapi untuk pengobatan kanker, sekaligus mengeksplorasi inovasi terbaru yang dikembangkan untuk meningkatkan efektivitas pengobatan, meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitar tumor, dan secara keseluruhan memperbaiki kualitas hidup pasien berdasarkan temuan ilmiah terkini.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan fokus pada studi literatur. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai tantangan yang dihadapi dalam penerapan radioterapi, sekaligus mengeksplorasi inovasi terbaru, khususnya radioterapi dalam konteks kesehatan pada penyakit kanker.

Data dikumpulkan melalui tinjauan sistematis terhadap literatur ilmiah yang diterbitkan dalam kurun waktu 2017-2024. Penelusuran literatur dilakukan menggunakan mesin pencari ilmiah seperti PubMed, Scopus, dan Web of Science dengan kata kunci yang relevan, seperti "radioterapi" dan "kanker".

Literatur yang dikaji mencakup topik seperti pemanfaatan sinar gamma dalam terapi kanker dan peluang penerapan teknologi kecerdasan buatan dalam radioterapi. Setiap literatur yang dipilih memenuhi kriteria inklusi, termasuk relevansi terhadap topik penelitian, kualitas

publikasi, dan kontribusinya terhadap pemahaman konsep radioterapi khususnya dalam konteks kesehatan penderita kanker.

Tabel 1 . Tahapan Penelitian Studi Literatur

NO	Tahap	Langkah – langkah	Hasil/Output
1	Identifikasi Topik	- Menentukan fokus utama penelitian. - Menetapkan tujuan penelitian dan ruang lingkup.	Pertanyaan penelitian
2	Pencarian Literatur	- Mengidentifikasi sumber data ilmiah seperti jurnal, artikel, dan buku. - Mencari literatur di database ilmiah menggunakan kata kunci tertentu.	Daftar literatur awal
3	Seleksi Literatur	- Menyaring literatur berdasarkan kriteria inklusi(relevansi topik, tahun publikasi, peer-reviewed).) - Mengeliminasi sumber yang tidak memenuhi kriteria.	Literatur yang relevan
4	Analisis Data	- Membaca secara mendalam untuk menemukan tema atau pola. - Membandingkan temuan dari berbagai literatur yang relevan. - Mengidentifikasi kesenjangan atau perbedaan antar studi.	Pemahaman mendalam terhadap topik
5	Interpretasi Hasil	- Menyusun kesimpulan dari hasil analisis. - Mengaitkan temuan dengan teori atau literatur terkait untuk menjawab pertanyaan penelitian.	Kesimpulan awal
6	Pelaporan Hasil	- Menyusun laporan atau artikel ilmiah.	Dokumen akhir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Kanker adalah salah satu penyebab utama kematian di dunia, dengan hampir 10 juta orang meninggal akibat penyakit ini pada tahun 2020. Di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah, sekitar 30% kasus kanker disebabkan oleh infeksi seperti human papillomavirus (HPV) dan hepatitis. Namun, banyak jenis kanker dapat disembuhkan jika dideteksi lebih awal dan ditangani dengan pengobatan yang tepat.

Kanker terjadi ketika sel-sel baru tumbuh secara tidak normal dan melampaui batas wajar. Sel-sel ini dapat menyerang area tubuh tertentu dan menyebar ke organ lain. Kanker bisa muncul di berbagai bagian tubuh, seperti kulit, mata, paru-paru, hingga organ reproduksi. Pada pria, jenis kanker yang paling sering ditemukan adalah kanker paru-paru, prostat, kolorektal, lambung, dan hati. Sementara itu, pada wanita, kanker yang paling umum adalah kanker payudara, kolorektal, paru-paru, serviks, dan tiroid (Luffianti, dkk, 2023).

Kanker dapat diobati dengan berbagai metode, seperti pembedahan, kemoterapi, dan radioterapi. Radioterapi adalah terapi medis yang menggunakan radiasi pengion untuk membunuh sel-sel kanker secara maksimal, sambil meminimalkan kerusakan pada sel-sel normal di sekitarnya. Agar efektif, radiasi pada area kanker harus diberikan dengan dosis yang

tepat, sementara organ sehat di sekitarnya harus menerima dosis serendah mungkin. Jika dosis terlalu rendah, proses penyembuhan dapat terganggu, tetapi jika terlalu tinggi, pengobatan justru dapat membahayakan pasien. Jumlah radiasi yang diberikan disesuaikan dengan jenis kanker yang diobati (Fardela, dkk, 2023).

Kanker sering kali memiliki bentuk dan pola pertumbuhan yang tidak teratur, maka penyinaran dengan berkas elektron harus disesuaikan. Blok elektron khusus yang dirancang secara individual digunakan untuk melindungi jaringan sehat di sekitar tumor, sehingga dosis radiasi pada *Organ At Risk* (OAR) dapat diminimalkan. Perlindungan jaringan sehat ini menjadi langkah penting untuk mengurangi risiko efek samping dan meningkatkan kualitas hidup pasien kanker (Faradisi, dkk, 2023).

Radiasi yang digunakan dalam radioterapi adalah radiasi berenergi tinggi dengan kisaran energi antara 10 keV hingga 35 MeV. Sebelum menjalani radioterapi, fisikawan medis perlu melakukan simulasi komputer untuk menentukan dosis radiasi yang tepat. Salah satu metode simulasi yang sering digunakan adalah metode Monte Carlo. Namun, dalam proses simulasi ini, sering muncul masalah karena perbedaan antara fantom tubuh manusia yang digunakan dalam *treatment planning* dengan kondisi tubuh pasien yang sebenarnya. Fantom adalah model pengganti tubuh manusia yang dapat dibuat secara manual atau melalui simulasi komputer. Sayangnya, struktur fantom seringkali tidak sepenuhnya mencerminkan tubuh manusia, sehingga distribusi dosis radiasi hasil simulasi berbeda dari kondisi sebenarnya. Hal ini menyulitkan dalam menentukan dosis radiasi yang tepat untuk menghancurkan sel kanker tanpa menimbulkan efek samping berlebihan pada pasien (Miska, dkk, 2019).

Dalam radioterapi, meskipun setiap organ atau jaringan tubuh menerima dosis radiasi yang sama, efek biologis yang ditimbulkan bisa berbeda-beda pada setiap organ atau jaringan. Perbedaan ini disebabkan oleh tingkat sensitivitas masing-masing organ terhadap radiasi. Untuk itu, diperlukan pengukuran dosis efektif (HE) yang digunakan untuk memperhitungkan kemungkinan efek samping jangka panjang. Dosis efektif mengukur sejauh mana kerusakan yang mungkin terjadi akibat paparan radiasi tersebut (Muhamad, dkk, 2018).

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi medis berkembang pesat, termasuk dalam bidang radioterapi. Salah satu teknik yang mengalami kemajuan signifikan adalah Terapi Radiasi Eksternal 3D-CRT (3-Dimensional Conformal Radiotherapy). Teknik ini memungkinkan radiasi diberikan dari berbagai sudut, yang memastikan dosis radiasi yang lebih tepat sesuai dengan bentuk dan lokasi tumor. Hal ini membantu meningkatkan efektivitas pengobatan dan mengurangi risiko kerusakan pada jaringan sehat di sekitar tumor. Meskipun 3D-CRT menawarkan presisi yang baik dalam penyampaian dosis, ada juga tantangan yang muncul. Salah satunya adalah kebutuhan akan peralatan canggih dan pelatihan khusus untuk tenaga medis. Selain itu, biaya yang terkait dengan pengadaan dan pemeliharaan peralatan, serta pelatihan tenaga medis, bisa menjadi hambatan di beberapa fasilitas kesehatan, terutama di negara-negara berkembang.

Selain 3D-CRT, ada juga teknik lain yang digunakan, yaitu IMRT (Intensity Modulated Radiation Therapy). IMRT memungkinkan modifikasi intensitas radiasi untuk memberikan distribusi dosis yang lebih optimal dibandingkan dengan 3D-CRT pada beberapa kondisi. Namun, IMRT juga memiliki tantangan tersendiri, seperti kebutuhan untuk peralatan yang lebih canggih dan waktu perencanaan yang lebih lama. Di Indonesia, adopsi teknik radioterapi canggih seperti 3D-CRT dan IMRT masih terbatas. Faktor-faktor seperti ketersediaan peralatan, pelatihan tenaga medis, dan biaya masih menjadi hambatan utama (Ngongoloy, dkk, 2024).

Saat ini, perkembangan big data dan kecerdasan buatan (AI) semakin membantu meningkatkan kualitas pelayanan dan keberhasilan radioterapi di Indonesia. Penggunaan aplikasi deep learning juga berkembang pesat, sejalan dengan alur kerja radioterapi yang melibatkan data terstruktur, sesuai standar, dan pelabelan, sehingga memungkinkan penerapan teknologi AI.

Pelaksanaan radioterapi memerlukan kerjasama yang erat antara dokter onkologi, fisikawan medis, dan radioterapis. Sebelum memulai radioterapi, dokter onkologi melakukan anamnesis berdasarkan hasil radiodiagnostik. Pada tahap awal, simulasi dilakukan menggunakan Computed Tomography (CT) atau Magnetic Resonance Imaging (MRI) untuk menentukan posisi pasien saat penyinaran. Dokter akan menandai area yang akan disinari, yaitu *Planning Target Volume* (PTV), serta organ yang harus dilindungi, yang disebut *Organ At Risk* (OAR), beserta dosis dan fraksinya. Tugas fisikawan medis adalah merencanakan perawatan yang akan dilakukan dalam tahap radioterapi, yang dikenal sebagai *Treatment Planning System* (TPS), dengan tujuan untuk memaksimalkan dosis yang diberikan pada PTV dan meminimalkan dosis pada OAR. Tahapan *quality assurance* (QA) juga penting untuk memverifikasi posisi dan dosis yang akan diberikan selama proses penyinaran. Selain itu, *Image Guided Radiotherapy* (IGRT) digunakan untuk memperbaiki kesalahan pada setiap fraksi (Amda, dkk, 2023). Untuk menghasilkan performa yang maksimal dan seminimal mungkin meminimalisir kesalahan, diperlukan teknologi *Artificial Intelligence* yang dapat membantu para pakar yang terkait pada radioterapi untuk menyelesaikan tahapan proses yang berulang dan rumit.

5. Simpulan

Penelitian ini membahas tantangan dan inovasi dalam radioterapi untuk pengobatan kanker. Radioterapi efektif sebagai terapi non-bedah karena dapat membunuh sel kanker dengan kerusakan minimal pada jaringan sehat. Teknologi seperti 3D-CRT, IMRT, dan kecerdasan buatan (AI) meningkatkan presisi dan efisiensi pengobatan. Namun, masih ada beberapa keterbatasan, seperti perbedaan antara simulasi fantom dan tubuh pasien, sensitivitas organ terhadap radiasi, serta tantangan adopsi teknologi di Indonesia, termasuk masalah peralatan, pelatihan, dan biaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberhasilan radioterapi memerlukan kerja sama antara tenaga medis dan peneliti teknologi. Meskipun temuan ini dapat diterapkan secara umum, perlu validasi lebih lanjut untuk kondisi di Indonesia.

Penelitian selanjutnya sebaiknya fokus pada pengembangan simulasi fantom yang lebih akurat, pengoptimalan dosis radiasi, dan penggunaan AI dalam perencanaan serta evaluasi radioterapi. Selain itu, akses ke teknologi dan pelatihan bagi tenaga medis harus ditingkatkan. Penelitian ini menyoroti pentingnya investasi berkelanjutan dalam teknologi medis untuk meningkatkan kualitas pengobatan kanker.

Daftar Referensi

- Amda, J. M., Waskita, A. A., Saputra, A., Rianto, S., & Abdurrosyid, I. (2023). PELUANG PENGEMBANGAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE PADA RADIOTERAPI DI INDONESIA. *Medika Kartika : Jurnal Kedokteran dan Kesehatan*, 6 (4), 430-441.
- Faradisi, Z., Samsun, Winarno, G., & Aprianoro, N. H. (2023). Penatalaksanaan Radioterapi Booster Elektron Pada Kasus Kanker Payudara. *JURNAL RADIOGRAFER INDONESIA*, 110-116.
- Fardela, R., Putri, A. M., Andriani, I., Diyona, F., Analia, R., & Mardiansyah, D. (2023). Analisis Dosis OAR Pada Radioterapi Kanker Payudara Sinistra Di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Natural Science: Jurnal Penelitian Bidang IPA dan Pendidikan IPA*, 9 (2), 112-123.
- Fitriatuzzakiyyah, N., Sinuraya, R. K., & Puspitasari, I. M. (2017). Terapi Kanker dengan Radiasi: Konsep Dasar Radioterapi dan Perkembangannya di Indonesia. *Jurnal Farmasi Klinik Indonesia*, 6 (4), 311-320.
- Luffianti, L. N., Sudarti, & Yushardi. (2023). PEMANFAATAN SINAR GAMMA TERHADAP PROSES TERAPI KANKER (RADIOTERAPI STEREOTAKTIK/HIPERTERMIA). *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 1 (10), 11-20.

Mirfauddin, Nurbeti, & Harun, H. M. (2023). Tinjauan Radioterapi Kanker Serviks: Mengatasi Tantangan Pelayanan Kesehatan Indonesia. *Lontara: Journal of Health Science & Technology*, 4 (2), 149-165.