

**EVALUASI MUTU PROSES VERIFIKASI
RADIASI EKSTERNAL LINAC
PADA INSTALASI RADIOTERAPI
RSUD PROF. DR. MARGONO SOEKARJO**



**Mecca Zuhruf Zakiya, A.Md.Rad
Nur Faizah, A.Md. Rad
Darmini, S.Kep Ners.MM**

RSUD PROF. DR. MARGONO SOEKARJO

EVALUASI MUTU PROSES VERIFIKASI RADIASI EKSTERNAL LINAC PADA INSTALASI RADIOTERAPI RSUD PROF. DR. MARGONO SOEKARJO

*Evaluasi Mutu Proses Verifikasi CBCT pada Alat Linac Versa HD rsud Prof. Dr. Margono
Soekarjo*

Mecca Zuhruf Zakiya¹ Nur Faizah² Darmini³

Abstrak

Latar Belakang : Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam penatalaksanaan kanker, baik sebagai terapi utama maupun adjuvan. Teknik penyinaran menggunakan sumber radiasi eksternal (external beam radiation therapy) harus dilakukan secara tepat dan terukur agar dosis radiasi sampai ke target tumor dengan akurasi tinggi, serta meminimalkan paparan pada jaringan sehat di sekitarnya.

Tujuan : Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu pelaksanaan proses verifikasi radiasi eksternal pada alat *Linear Accelerator* (LINAC) di Instalasi Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto, menilai kesesuaian hasil verifikasi dengan batas toleransi standar, serta mengidentifikasi faktor penyebab ketidaksesuaian.

Metode : Metode penelitian ini adalah deskriptif-kuantitatif, menggunakan data sekunder dari verifikasi pasien yang menjalani penyinaran menggunakan teknik 3D-CRT, IMRT, dan VMAT. Responden terdiri dari data pasien yang menggunakan teknik verifikasi Cone Beam CT (CBCT). Analisis dilakukan dengan evaluasi membandingkan data deviasi posisi terhadap standar operasional prosedur (SOP).

Hasil dan pembahasan: Evaluasi pada 33 sampel menunjukkan bahwa 94% dari hasil verifikasi dengan teknik CBCT berada dalam batas toleransi dengan pergeseran translasi (≤ 5 mm), dan deviasi rotasi $< 2^\circ$, namun terdapat 6% yang melebihi standar deviasi yang disebabkan oleh faktor pergerakan internal organ, ketidaktepatan posisi pasien saat set-up, serta keterbatasan waktu akuisisi citra. Teknik CBCT menunjukkan akurasi tertinggi dalam memvisualisasikan jaringan lunak dan membantu koreksi posisi.

Kesimpulan : Studi ini menekankan pentingnya evaluasi rutin dan peningkatan pelatihan teknis tetap diperlukan untuk menjamin keselamatan dan efektivitas terapi. Penguatan penerapan standar mutu verifikasi dapat menjadi strategi kunci dalam peningkatan layanan radioterapi. Meskipun hasil presentasi sangat tinggi, pengalaman radiografer terhadap proses verifikasi masih perlu ditingkatkan.

Kata Kunci: radioterapi, verifikasi, linac, cbct

¹ Staff Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo

² Staff Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo

³ Kepala Bagian Umum RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam penatalaksanaan kanker, baik sebagai terapi utama maupun adjuvan. Teknik penyinaran menggunakan sumber radiasi eksternal (*external beam radiation therapy*) harus dilakukan secara tepat dan terukur agar dosis radiasi sampai ke target tumor dengan akurasi tinggi, serta meminimalkan paparan ada jaringan sehat di sekitarnya.

Salah satu aspek penting dalam pelaksanaan radioterapi eksternal adalah proses verifikasi posisi pasien sebelum penyinaran dilakukan. Verifikasi ini berguna untuk memastikan kesesuaian antara posisi pasien saat perencanaan dengan posisi saat pelaksanaan terapi. Verifikasi umumnya menggunakan portal image atau *Cone Beam CT* (CBCT). Ketidaksesuaian posisi pasien dapat menyebabkan distribusi dosis yang tidak optimal, menurunkan efektivitas terapi, serta meningkatkan risiko efek samping.

Pada Instalasi Radioterapi RSUD Prof Dr Margono Soekarjo terdapat dua jenis alat penyinaran, salah satunya yaitu Linac (*Linear Accelerator*). Verifikasi yang digunakan pada alat Linac. Teknik Penyinaran yang dapat dilakukan pada alat Linac yaitu *Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy* (3D-CRT), *Intensity-Modulated Radiation Therapy* (IMRT), *Volumetric Modulated Arc Therapy* (VMAT). Dari ketiga teknik penyinaran yang dilaksanakan di Linac, maka dapat dilakukan dengan tiga jenis verifikasi yaitu KV, MV dan *Cone Beam CT* (CBCT). Semakin kompleks teknik penyinaran, semakin tinggi pula kebutuhan verifikasi posisi dan kualitas penyinaran. Kesalahan dalam pelaksanaan, walau kecil, dapat menyebabkan over- atau under-dosing yang signifikan.

Pengambilan verifikasi dilakukan dengan melakukan teknik set up sesuai dengan yang dilakukan saat proses CT simulator atau perencanaan penyinaran.

Verifikasi dimulai dengan pengambilan citra portal film konvensional yang terpasang pada alat radioterapi Linac. Pasien akan diverifikasi sebelum penyinaran pertama dan setelah lima kali penyinaran.

LINAC

Akselerator linear (linac) adalah alat terapi radiasi yang ekesternal yang paling umum digunakan untuk pasien yang terkena kanker. Linear accelerator digunakan untuk mengobati semua lokasi badan yang terkena kanker, menyampaikan *high-energy* sinar-x yang sama dosisnya kepada daerah tumor pasien. (Winarno, 2021).

LINAC masa kini telah dilengkapi dengan teknologi canggih seperti *multi-leaf collimator* (MLC), sistem pencitraan internal, dan perangkat lunak perencanaan dosis berbasis tiga dimensi, yang memungkinkan teknik-teknik lanjutan seperti IMRT dan VMAT.

3D-CRT

3D CRT (*Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy*) merupakan teknik radioterapi yang menggunakan data pencitraan (umumnya CT scan) untuk memodelkan bentuk tiga dimensi dari tumor dan jaringan sekitarnya. Dengan menggunakan perangkat lunak perencanaan terapi, medan penyinaran dirancang agar sesuai dengan bentuk tumor.

IMRT

Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) adalah salah satu teknik lanjutan dari 3D CRT yang memiliki prinsip memberikan pelayanan ke pasien dengan beberapa jumlah arah penyinaran dengan lapangan yang tidak seragam yang mana sudah dioptimalisasi untuk memberikan dosis maksimal ke organ target dan memberikan dosis minimal pada organ

sekitar. IMRT menggunakan teknik perencanaan dengan inverse planning. Istilah inverse digunakan untuk menunjukkan proses yang berasal dari parameter penyinaran yang tidak diketahui dari distribusi dosis yang diketahui.

VMAT

VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*) merupakan pengembangan dari IMRT yang memungkinkan penyinaran dilakukan dalam bentuk rotasi (*arc therapy*) secara kontinu di sekitar pasien. Dalam VMAT, kecepatan gantry, bukaan MLC, dan laju dosis berubah secara simultan untuk mengoptimalkan penyinaran.

Cone Beam CT (CBCT)

CBCT merupakan bentuk tomografi komputer berbasis rotasi penuh yang terpasang pada gantry LINAC. CBCT memungkinkan akuisisi gambar tiga dimensi sebelum terapi dimulai, lalu dibandingkan dengan CT simulasi awal.

METODE PENELITIAN

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif evaluatif dengan pendekatan kuantitatif terhadap data verifikasi pasien yang menjalani penyinaran menggunakan teknik 3D-CRT, IMRT, dan VMAT dengan menggunakan teknik verifikasi Cone Beam CT (CBCT). Analisis dilakukan dengan membandingkan data deviasi posisi terhadap standar operasional prosedur (SOP).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi mutu pelaksanaan proses verifikasi radiasi eksternal pada alat Linear Accelerator (LINAC) di Instalasi Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo Purwokerto, menilai kesesuaian hasil verifikasi dengan batas toleransi standar, serta mengidentifikasi faktor penyebab ketidaksesuaian.

Fokus utama penelitian adalah untuk mengevaluasi apakah pergeseran yang terjadi saat dilakukan verifikasi dengan teknik CBCT sudah memenuhi standar deviasi yang ada.

Adapun data yang digunakan adalah data sekunder dari verifikasi pasien yang menjalani penyinaran menggunakan teknik 3D-CRT, IMRT, dan VMAT. Responden terdiri dari data pasien yang menggunakan teknik verifikasi Cone Beam CT (CBCT). Analisis dilakukan dengan evaluasi membandingkan data deviasi posisi terhadap standar operasional prosedur (SOP).

POPULASI DAN SAMPEL

Populasi dalam penelitian ini adalah data verifikasi seluruh pasien terapi radiasi eksternal pada alat Linac di Instalasi Radioterapi. Sedangkan sampel yang diambil yakni hanya mencakup kelompok data yang melaksanakan radiasi eksterna pada alat linac rentang waktu bulan mei hingga juli 2025 dengan menggunakan teknik verifikasi CBCT.

Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan evaluasi yang baik terhadap pelayanan yang ada pada instalasi radioterapi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengukuran mutu layanan radioterapi, tetapi juga pada evaluasi petugas khususnya radiografer yang bertugas melaksanakan pelayanan pada pasien radiasi eksterna radioterapi.

KRITERIA INKLUSI DAN EKSKLUSI

Kriteria Inklusi yang digunakan pada penelitian ini yaitu proses verifikasi Cone Beam CT (CBCT) yang dilakukan pada pasien terapi radiasi eksternal pada alat Linac di Instalasi Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono pada rentang waktu bulan mei hingga juli 2025. Sedangkan Kriteria Eksklusi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pasien yang hanya dilakukan proses verifikasi satu kali lalu tidak dilakukan verifikasi lagi dengan berbagai alasan, serta pasien yang dilakukan proses verifikasi dengan menggunakan teknik kV atau MV.

ETIKA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan memperhatikan prinsip-prinsip etika yang berlaku pada penelitian medis, diantaranya:

1. Nilai Klinis

Nilai Klinis yang terkandung pada penelitian ini tidak hanya berdampak pada pasien yang terlibat sampel tetapi dapat digunakan pada seluruh pasien radiasi eksternal linac, serta dapat menjadikan upaya pengembangan mutu pada pelayanan radiasi eksternal radioterapi linac.

2. Nilai Ilmiah

Penelitian ini berpacu pada landasan teori yang sah dan diakui secara internasional. Sehingga hasil yang didapatkan dapat digunakan sebagai acuan penelitian atau perbandingan penelitian selanjutnya.

3. Potensi Risiko dan manfaat

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengambil data yang ada sesuai dengan alur terapi yang sedang dilaksanakan oleh pasien, tidak menambahkan radiasi terhadap pasien.

4. Perlindungan Privasi dan Kerahasiaan

Penelitian ini tidak mencantumkan identitas pasien terapi radiasi eksternal yang ada di RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo.

ANALISIS DATA

Pengolahan data dilakukan dengan menghitung Presentase kesesuaian prosedur verifikasi terhadap standar dan Rata-rata deviasi translasi (mm) dan rotasi (derajat) pada hasil verifikasi (CBCT).

Penyajian data penelitian dalam bentuk dalam bentuk tabel dan grafik distribusi frekuensi dari hasil yang tercapai. Serta interpretasi hasil penelitian akan dibandingkan dengan standar yang ada dalam peraturan atau jurnal yang telah diakui internasional.

HASIL

Tabel 1. Hasil Pergeseran Verifikasi CBCT

NO	TRANSLATION			ROTATION		
	X (Lateral)	Y (Longitudinal)	Z (Vertikal)	X (Lateral)	Y (Lonitudinal)	Z (Vertikal)
1	0,34	0,35	0,32	2,7	0,8	1,2
2	0,1	0,6	0,02	0,7	0,1	0,1
3	0,12	0,16	0,13	0	0	0
4	0	0,55	0,05	0,6	0,1	1,8
5	0,16	0,86	0,3	0	0	0
6	0,08	0,07	0,02	0,3	0,1	0,2
7	0,66	0,91	0,25	1,5	2	1,4
8	0,28	0,74	0,51	2,3	1,6	0,9
9	0,57	1,14	0,22	0,4	0,3	2,1
10	0,18	0,32	0,18	0,6	2,5	1,6
11	0,38	0,26	0,17	0,6	1,5	0,1
12	0,27	1,11	0,6	0,2	2,3	0,8
13	0,3	0,18	0,3	0,8	3,2	0,9
14	0,2	0,26	0,03	0,4	3,9	2,3
15	0,12	0	0,1	0,5	2,7	0,4
16	0,01	0,15	0,15	0,3	1,8	0,2
17	0,42	0,67	0,37	1,1	0,6	2,9

18	0,42	0,87	0,15	2,8	0,5	0,7
19	0,01	0,16	0,08	1,2	0	0,1
20	0,31	1,04	0,05	0,2	0,6	3,3
21	0,1	2,17	0,09	1,2	1,8	0
22	0,4	0,49	0,46	0,1	0,2	0,8
23	0,3	0,15	0,04	1,4	0,6	0,7
24	0,67	0,83	0,13	5,1	1,9	1,1
25	0,04	2,15	0,19	1,1	0,3	0,6
26	0,93	1,71	0,2	1,9	1,3	1,9
27	0,79	0,63	0,12	1,5	0,8	2,6
28	0,05	0,18	0,07	1	2,4	0,1
29	0,07	0,2	0,22	1,6	1,5	0,9
30	0,26	0	0,3	0,9	5,4	0,3
31	0,24	0,76	0,43	1	1,6	0,7
32	0,06	0,01	0,01	0,4	1,7	0,5
33	0,42	0,51	0,27	1,4	0,6	2,6
Rata-rata	0,27	0,62	0,19	1,1	1,4	0,9
Nilai Max	0,93	2,17	0,6	5,1	5,4	3,3
Nilai Min	0	0	0,01	0	0	0,0

Penelitian dilaksanakan pada 33 data Pasien Radiasi Eksternal Linac Instalasi Radioterapi RSUD Prof Dr Margono Soekarjo. Dengan hasil yang diperoleh dari nilai rata-rata pergeseran translasi lateral yaitu 0,27mm. Pergeseran translasi longitudinal yang didapat yaitu 0,62 mm, dan hasil rata-rata pergeseran translasi vertikal yaitu 0,19 mm .

Sedangkan rotasi yang terjadi pada proses verifikasi dari sampel didapatkan hasil, rata-rata rotasi lateral yaitu $1,1^{\circ}$, rata-rata rotasi longitudinal yaitu $1,4^{\circ}$ dan rotasi vertikal yaitu $0,9^{\circ}$.

Selain rata-rata yang dihasilkan, peneliti juga mengambil nilai maksimal dari hasil verifikasi CBCT yang dilakukan. Dengan hasil yang diperoleh dari nilai maksimal pergeseran translasi lateral yaitu 0,93mm. Pergeseran translasi longitudinal yang didapat yaitu 2,17 mm, dan hasil nilai maksimal pergeseran translasi vertikal yaitu 0,6 mm .

Sedangkan rotasi yang terjadi pada proses verifikasi dari sampel didapatkan hasil, nilai maksimal rotasi lateral yaitu $5,1^{\circ}$, nilai maksimal rotasi longitudinal yaitu $5,4^{\circ}$ dan rotasi vertikal yaitu $3,3^{\circ}$.

Peneliti juga mengambil nilai minimal dari hasil verifikasi CBCT yang dilakukan. Dengan hasil yang diperoleh dari nilai minimal

pergeseran translasi lateral yaitu 0 mm. Pergeseran translasi longitudinal yang didapat yaitu 0 mm, dan hasil nilai minimal pergeseran translasi vertikal yaitu 0,01 mm .

Sedangkan rotasi yang terjadi pada proses verifikasi dari sampel didapatkan hasil, nilai minimal rotasi lateral yaitu 0° , nilai minimal rotasi longitudinal yaitu 0° dan rotasi vertikal yaitu 0° .

Diagram 1. Presentase Deviasi Verifikasi CBCT



Presentase Kesesuaian yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 94% dari keseluruhan pergeseran translasi dan rotasi telah sesuai dengan standar deviasi, dan 6% dari hasil yang melebihi batas toleransi dengan kriteria batas deviasi $>5\text{mm}$ atau $>2^{\circ}$.

PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini yaitu dengan dilakukannya verifikasi kita dapat mengetahui apakah posisi pasien, alat imobilisasi dan

semua yang dilakukan sebelum treatment dilakukan sudah sesuai dengan standar operasional prosedur maupun standar yang dikeluarkan oleh badan resmi.

Pengambilan verifikasi dilaksanakan oleh radiografer radioterapi dan diverifikasi oleh dokter. Penelitian ini mengambil 33 sampel pasien dengan berbagai kasus serta dilakukan proses verifikasi CBCT. Dari Hasil verifikasi didapat data pergeseran translasi dan rotasi. Pergeseran translasi dan rotasi keduanya memiliki tiga kriteria yaitu pergeseran lateral, longitudinal dan vertikal.

Pada Instalasi RSUD Margono data diambil pada CBCT yang kedua atau 6x penyinaran. Sesuai dengan Jurnal yang ditulis oleh Caroline Laurette verifikasi dilakukan setiap hari, dengan cara memposisikan pasien sesuai prosedur yang ada dan dibandingkan dengan data yang telah dilakukan dihari sebelumnya. Apakah ada pergeseran atau tidak. Dari hasil yang didapat menunjukkan 94% data sesuai dengan standar deviasi, dan 6% melebihi standar deviasi. Dalam hal ini standar deviasi yang kami pakai yaitu translasi tidak melebihi 5mm atau rotasi tidak melebihi dari 2°.

Penelitian yang telah terjadi sebagian besar hanya membahas pergeseran translasinya saja, karena pada saat itu belum ada proses verifikasi yang bisa menghasilkan gambaran 3D dengan menampilkan pergeseran rotasi yang terjadi pada saat proses verifikasi atau yang biasa kita sebut CBCT.

Seiring berkembangnya jaman, maka teknik penyinaran radiasi eksternal juga semakin berkembang dan canggih, sehingga proses verifikasi juga sangat penting untuk menentukan keakuratan posisi obyek yang akan disinari.

Kelebihan studi yang dilakukan, antara lain data yang diambil merupakan data baru, sehingga kevalidan data lebih terjamin, hasil penelitian dapat dipertimbangkan

sebagai upaya peningkatan dan pengembangan standar operasional yang ada karena alat Linac yang dimiliki Radioterapi Margono merupakan alat yang baru.

Keterbatasan dari studi ini yaitu pergerakan pasien yang kurang kooperatif saat imobilisasi kurang optimal, komunikasi dengan dokter sebelum terapi dilakukan membutuhkan waktu yang lama, pengisian dokumentasi hasil masih dilakukan manual oleh peneliti.

KESIMPULAN

Proses verifikasi radiasi eksternal di Instalasi Radioterapi RSUD Prof. Dr. Margono Soekarjo telah berjalan baik dengan 94% sesuai standar mutu. Selain itu, terdapat 6% deviasi yang disebabkan oleh faktor teknis dan non-teknis seperti imobilisasi yang kurang optimal. Serta Radiografer memiliki peran penting dalam menjaga mutu verifikasi dan perlu didukung dengan pelatihan rutin.

SARAN

Penelitian ini menyarankan kepada para pejabat yang berwenang untuk melakukan audit mutu verifikasi secara berkala, meningkatkan pelatihan radiografer dalam evaluasi proses verifikasi khususnya teknik CBCT dan dokumentasi koreksi. Serta melakukan evaluasi dan perbaikan alat imobilisasi untuk mengurangi pergerakan pasien.

DAFTAR PUSTAKA

- IAEA. (2018). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*.
- Bortfeld, T. (2006). *IMRT: A review and preview. Physics in Medicine and Biology*.
- Van Herk, M. (2004). *Errors and margins in radiotherapy*. Seminars in Radiation Oncology.
- Pandya, S., et al. (2016). *Importance of Image-Guided Radiotherapy in Clinical Practice*. Journal of Cancer Research and Therapeutics.
- American Association of Physicists in Medicine (AAPM). (2009). *Task Group 142 Report: Quality Assurance of Medical Accelerators*. Medical Physics, 36(9), 4197–4212.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2000). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water (TRS 398)*. Vienna: IAEA.
- International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). (2010). *Report 83: Prescribing, Recording, and Reporting Intensity-Modulated Photon-Beam Therapy (IMRT)*. Journal of the ICRU, 10(1).
- Boda-Heggemann, J., Lohr, F., Wenz, F., et al. (2011). *Image-guided radiotherapy (IGRT)—A review of current clinical practice*. Radiotherapy and Oncology, 99(1), 1–9.
- Poulsen, P. R., Fokdal, D. L., Petersen, J. B., et al. (2015). *Cone beam CT imaging for radiotherapy: current status and future perspectives*. Acta Oncologica, 54(9), 1210–1217.
- Gierga, D. P., Brewer, J., Sharp, G. C., et al. (2012). *The use of surface imaging and fiducials for daily prostate localization*. Journal of Applied Clinical Medical Physics, 13(6), 3974.
- Herman, M. G. (2009). *Clinical use of electronic portal imaging*. Seminars in Radiation Oncology, 15(3), 157–167.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2021. *Pedoman dan Standar Etik Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Nasional*. Balitbangkes. Jakarta.
- Creutzberg, Caroline Laurette. 1998. *Treatment verification in radiation oncology portal imaging in clinical practice*. Universitas Erasmus Rotterdam.
- Das, Papu, dkk. 2024. *Precision in Delivery : The Critical Role of Daily Imaging in Radiotherapy for Nasopharyngeal Cancer with VMAT Technique*. Asian Pacific Journal.
- Winarno, dkk. 2021. *Radioterapi Kanker Cervix dengan Linear Accelerator*. Jurnal BioSains PascaSarjana Vol. 23.