

Analisis *Daily Quality Assurance (QA) / Quality Control (QC)* pada Pesawat Linac di Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara

A.A. Ngurah Gede Kusuma Yoga^{1*}, Kadek Yuda Astina², I Wayan Juliasa³

^{1,2}Aktek Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali, Denpasar, Bali, Indonesia.

³Rumah Sakit Umum Daerah Bali Mandara, Denpasar, Bali, Indonesia.

Received: 04 September 2024

Revised: 14 December 2024

Accepted: 19 April 2025

Corresponding Author:

A.A. Ngurah Gede Kusuma Yoga
ngurahyoga217@gmail.com

© 2025 Kappa Journal is licensed under
a Creative Commons Attribution-
NonCommercial-ShareAlike 4.0
International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.27443>

Abstract: This study focuses on evaluating the Daily Quality Assurance (QA) and Quality Control (QC) of the Linear Accelerator (Linac) machine at the Radiation Oncology Unit of Bali Mandara General Hospital (RSUD Bali Mandara). With the growing complexity of radiotherapy technology, ensuring the accuracy and consistency of radiation doses delivered during treatment is crucial for patient safety and effective cancer treatment. This study aims to evaluate the performance of the Linac Varian CX through a series of Daily checks, including output constancy, laser calibration, Optical Distance Indicator (ODI), and safety interlock systems. The results showed that the output constancy had a maximum error of $\pm 2.5\%$, laser calibration deviation was within 1-2 mm, and the ODI error was within 1-2 mm, all within the tolerance limits set by the AAPM TG-40 standards. Additionally, the safety interlock and audiovisual systems were fully functional, ensuring that all safety protocols were adhered to. These findings demonstrate that the Daily QA/QC procedures implemented at RSUD Bali Mandara effectively maintain the Linac's performance within the established tolerance limits, ensuring the safety and effectiveness of radiation therapy provided to patients. This study underscores the importance of stringent QA/QC practices in radiotherapy and provides insights for potential improvements in clinical practice.

Keywords: Linear Accelerator (Linac); Quality Assurance (QA); Quality Control (QC); Radiation Therapy; AAPM TG-40.

Pendahuluan

Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam pengobatan kanker yang terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi, memungkinkan pengiriman dosis radiasi yang lebih tepat, terukur, dan efektif (Sgouros dkk., 2020). Teknologi ini semakin diandalkan untuk menghancurkan sel kanker dengan cara yang lebih presisi, terutama dengan hadirnya perangkat seperti akselerator linier (Linac) yang memiliki kemampuan menghasilkan sinar-X berenergi tinggi (Hao dkk., t.t.). Seiring dengan peningkatan kompleksitas teknologi ini, penerapan *Quality Assurance (QA)* dan *Quality Control (QC)* menjadi semakin penting untuk memastikan

bahwa setiap tahap dalam pengobatan radioterapi dilakukan dengan standar tertinggi guna meminimalkan risiko kesalahan yang dapat berakibat fatal bagi pasien (Manjali dkk., 2022). QA mencakup serangkaian prosedur sistematis yang bertujuan untuk memverifikasi keakuratan dan konsistensi peralatan serta metode yang digunakan, sedangkan QC fokus pada pemantauan rutin dan evaluasi kinerja perangkat guna menjaga kualitas dan stabilitas keluaran radiasi (Klein dkk., 2009; Kualitas dkk., t.t.).

Teknologi radioterapi yang semakin canggih, seperti Linac, telah mengubah paradigma dalam pengiriman dosis radiasi, tetapi penggunaannya memerlukan pemantauan yang sangat ketat (Hall dkk.,

How to Cite:

Yoga, A. N. G. K., Astina, K. Y., & Juliasa, I. W. (2025). Analisis *Daily Quality Assurance (QA) / Quality Control (QC)* pada Pesawat Linac di Unit Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara. *Kappa Journal*, 9(1), 35-42. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.27443>

2022). Setiap parameter operasional perangkat ini harus tetap dalam batas yang telah ditetapkan agar dosis radiasi yang diberikan sesuai dengan rencana pengobatan yang disusun. QA dan QC pada Linac sangat penting dalam menjaga keselamatan pasien dan memastikan bahwa perangkat beroperasi secara konsisten dalam jangka Panjang (Krauss et al., 2023). Implementasi QA pada Linac mencakup pengujian harian, mingguan, dan bulanan. Pengujian harian, misalnya, melibatkan pemeriksaan parameter-parameter seperti *output constancy*, kalibrasi laser, dan pengecekan *Optical Distance Indicator* (ODI), yang harus sesuai dengan batas toleransi yang direkomendasikan oleh American Association of Physicists in Medicine (AAPM) TG-40, yaitu $\pm 3\%$. (Chang dkk., 2016; Klein dkk., 2009).

Berdasarkan keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor: 21/Ka-BAPETEN/XII-02 tentang program jaminan kualitas di Unit Pelayanan Radioterapi, AAPM TG-40 dijadikan acuan dalam pelaksanaan *Quality Control* pada pesawat Linac. Standar yang ditetapkan oleh AAPM, khususnya dalam AAPM Task Group 40 (TG-40), mengharuskan QA mencakup verifikasi menyeluruh terhadap seluruh aspek operasional Linac. Proses ini mencakup pengujian dosimetri, mekanik, dan keselamatan, yang dirancang untuk memastikan setiap parameter berfungsi dengan akurasi dan konsistensi tinggi (Smith dkk., 2017). Pengujian dosimetri adalah komponen penting dalam QA, bertujuan untuk memverifikasi bahwa dosis radiasi yang dihasilkan oleh Linac sesuai dengan rencana pengobatan yang telah ditetapkan. Dalam praktiknya, ruang ionisasi digunakan untuk mengukur dan memverifikasi keluaran dosis radiasi, yang harus tetap berada dalam batas toleransi $\pm 3\%$ yang direkomendasikan oleh AAPM (Klein dkk., 2009; Kurnianto dkk., 2023).

Ketepatan dalam pengukuran dosis ini sangat penting karena ketidakakuratan dalam output radiasi dapat menyebabkan over-dosing atau under-dosing, yang berdampak buruk pada hasil pengobatan (Najjar, 2023). Over-dosing dapat merusak jaringan sehat di sekitar tumor, sementara under-dosing dapat mengurangi efektivitas pengobatan dengan memberikan dosis yang tidak mencukupi pada tumor (Nyaichyai dkk., 2022; Sharmin dkk., 2019). Oleh karena itu, QA harian yang melibatkan pengukuran dosimetri rutin, kalibrasi perangkat, dan verifikasi aspek keselamatan seperti *door interlock* dan sistem kontak *audiovisual* sangat penting untuk menjaga Linac tetap berfungsi sesuai spesifikasi klinis yang diharapkan (Haris Suharmono dkk., 2020).

Meskipun penerapan QA dan QC dalam radioterapi telah memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan keselamatan dan efektivitas terapi,

tantangan signifikan masih ada, terutama dalam hal meminimalkan variabilitas hasil pengukuran dan menjaga konsistensi kinerja perangkat dalam jangka panjang (Dixon & O'sullivan, 2002). Penelitian oleh Sharmin (2019) juga menekankan pentingnya pelaksanaan QA yang konsisten untuk menjaga akurasi pengiriman dosis radiasi. Namun, mereka juga mencatat bahwa teknologi pelacakan otomatis dapat memberikan peningkatan signifikan dalam hal efisiensi proses QA, serta mengurangi variabilitas yang diakibatkan oleh kesalahan manusia. Teknologi semacam ini tidak hanya dapat meningkatkan konsistensi pengukuran, tetapi juga memungkinkan deteksi dini masalah sebelum berdampak pada hasil pengobatan pasien.

Dalam konteks radioterapi modern yang semakin kompleks dengan teknik seperti IMRT dan VMAT, kebutuhan akan sistem QA yang lebih responsif dan adaptif menjadi semakin mendesak (Rashid dkk., 2021). Sistem-sistem ini harus mampu mengelola kompleksitas dosis tinggi dengan akurasi maksimal dan mendeteksi setiap perubahan kecil dalam kondisi operasional perangkat (Klein dkk., 2009). Oleh karena itu, meskipun banyak kemajuan telah dicapai, tantangan baru dalam QA dan QC memerlukan pendekatan inovatif dan penggunaan teknologi yang lebih maju untuk menjaga standar tertinggi dalam perawatan radioterapi (Vandewinckele dkk., 2020).

Meskipun penelitian telah banyak dilakukan mengenai QA dan QC, masih terdapat gap signifikan dalam optimalisasi pengujian harian Linac, terutama dalam berbagai kondisi klinis yang berbeda (Puyati dkk., 2020). Penelitian yang berfokus pada pengujian harian, yang merupakan garis pertahanan pertama dalam mendeteksi kesalahan sebelum pengobatan dimulai, masih kurang. Sebagai contoh, penelitian oleh Moghadam (2018) menunjukkan bahwa implementasi alat pelacakan otomatis dalam program QA pada akselerator linier di terapi radiasi dapat meningkatkan kepatuhan terhadap standar QA secara signifikan. Studi ini menemukan bahwa penggunaan Dashboard QA otomatis berhasil meningkatkan kepatuhan dari 75% pada tahun 2016 menjadi lebih dari 99% pada tahun 2022, terutama pada uji QA yang lebih baru seperti QA pencitraan dan tinjauan QA harian oleh fisikawan medis. Meskipun demikian, penelitian ini juga mencatat bahwa meskipun ada peningkatan dalam kepatuhan dan pengurangan variabilitas pada pengukuran QA pencitraan, tidak ada perubahan substansial yang diamati dalam variabilitas pengukuran dosimetri. Temuan ini menyoroti pentingnya alat pelacakan otomatis dalam meningkatkan kepatuhan dan akurasi QA, namun juga menunjukkan bahwa ada ruang untuk peningkatan lebih lanjut, khususnya dalam pengukuran dosimetri yang lebih canggih.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil pengujian QA/QC sesuai dengan standar AAPM TG-40 pada pesawat teleterapi Linac di Unit Pelayanan Onkologi Radiasi Rumah Sakit Umum Daerah Bali Mandara, yang telah diinstal sejak 2019 dan mulai beroperasi sejak 2022. Dengan jumlah rata-rata pasien yang menggunakan pesawat Linac Varian CX sebanyak 30 pasien per hari, fisikawan medis melakukan QA/QC sebelum penyinaran dimulai. Keluaran dari Slab Phantom akan menunjukkan konsistensi keluaran pesawat Linac dengan mengacu pada nilai morning check out dan data baseline yang diukur pada awal penggunaan.

Metode

Jenis penelitian pada penelitian ini jenis penelitian yang digunakan penulis dalam penyusunan proposal adalah kuantitatif deskriptif. Desain penelitian ini proses pengambilan data dengan menguji *Daily check* QA/QC pesawat teleterapi Linac Varian CX. 3. Waktu dan Tempat Penelitian akan dilaksanakan dari bulan Maret-Mei 2024 dan pengambilan data akan dilaksanakan di Unit Pelayanan Onkologi Radiasi Rumah Sakit Umum Daerah Bali Mandara. Presedur dari penelitian ini yaitu *Daily check* pada pesawat Linac Varian CX biasanya dilakukan 30 menit sebelum pelayanan radioterapi di mulai, yang pertama mengguji *door interlock* dengan cara tutup penuh pintu ruang penyinaran kemudian cek fungsi interlock dengan cara membuka pintu ruang penyinaran pada detik ke 10, untuk uji laser matikan lampa utama nyalakan seluruh laser dan cek pergeseran laser dengan laser cek yang didekatkan dengan kertas milimeter blok, uji ODI pada Linear yaitu atur gantri pada sudut 0. Pasang alat Indikator jarak mekanik pada posisi yang ditentukan, bandingkan kesesuaian indikator jarak mekanik dengan ODI, Hasil uji Laser, ODI, Door interlock, *Audiovisual* kemudian dicatat di ceklist *Daily check*, untuk uji output foton posisikan phantom dan detektor sesuaikan dengan kedalaman tertentu dilanjutkan papar dengan monitor unit (MU) dapat dilihat dalam komputer dengan menggunakan aplikasi mephysto dan angka tersebut diolah menggunakan rumus dibawah ini.

$$KTL = \left(\frac{data\ hari\ ini - data\ base}{data\ base} \right) \dots\dots (1)$$

Data yang di dapat dari uji *Daily check* lalu dikumpulkan dan diolah untuk dianalisis dan ditarik kesimpulan sesuai standarisasi bapeten. Dimana dari uji output proton standarisasi pada bapeten adalah ±3%, dari uji laser dan ODI dengan standarisasi bapeten adalah 1-2 mm dan uji *door interlock* dan *audiovisual*

dengan standarisasi pada bapeten adalah berfungsi atau tidak berfungsi. Jika kurang atau lebih dari standarisasi dari bapeten tersebut maka dikatakantidak sesuai.

Tabel 1: QA *Daily Linac*

Frequency	Procedure	Tolerance
Daily	Dosimetry	
	X-Ray output constancy	3%
	Mechanical	
	Localizing laser	2mm
	Distance Indicator (ODI)	2mm
	Safety	
	Door Interlock	<u>functional</u>
	Audiovisual	<u>functional</u>

Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-Mei dengan menggunakan pesawat teleterapi Linac Varian CX. Adapun alat pengujian dari penelitian ini yaitu:

1. Konsistensi Proton

Uji dari konsistensi proton ini untuk mengetahui dari keluaran proton dari pesawat linac varian CX, yang dimana pengecekan menggunakan Slab fantom seperti gambar di bawah.



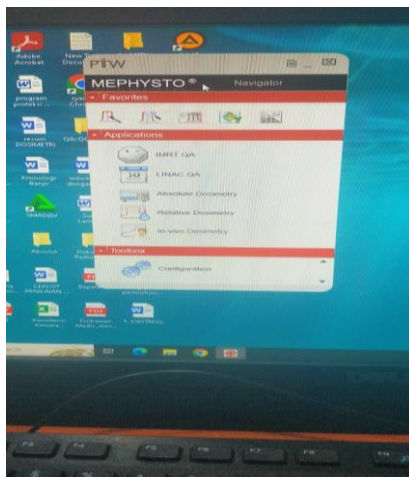
Gambar 1. Slab fantom dengan detektor

Menggunakan slab fantom 3 lapis dengan memasang detector di pertengahan slab fantom dan menggunakan 200 MU dengan luas lapangan penyinaran 10cmx10cm dengan SSD 100cm dan menyambungkan antara detector dengan tendem seperti foto di bawah ini.



Gambar 2. tandem penyambung detector

Setelah tandem tersambung dengan detector field dari tandem di atur di angka 300 dan di sambungkan ke pc yang ada di ruang monitor.

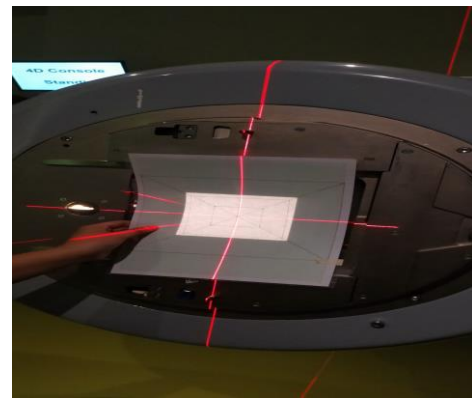


Gambar 3. APK MEPHYSTO

Setelah terhubung dengan pc dengan tandem buka aplikasi Mephysto dan membuka absolute dosimetry untuk menampilkan keluaran dari pesawat teleterapi linac CX.

2. Laser

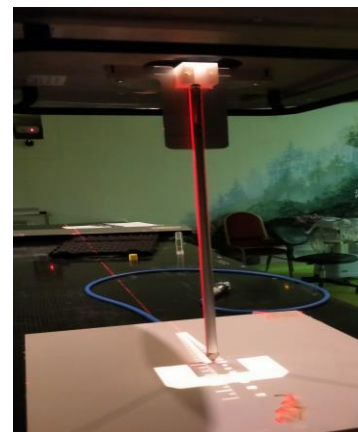
Uji dari laser ini untuk memastikan titik isocenter bertemu satu sama lain. Untuk menguji laser ini diperlukan milimeter blok dengan memposisikan pesawat linac di 270° dan 90° . Pada posisi 270° dan 90° ini milimeter blok ini di paskan pada pertengahan pesawat linac dengan menghidupkan lampu indicator, setelah lampu indicator hidup dan selanjutnya di hidupkan laser untuk mengetahui ada pergeseran antara laser dengan lampu indicator, seperti gambar di bawah.



Gambar 4. Lokalisasi Laser

3. Optical Distan Indicator (ODI)

Uji dari Optical Distan Indicator (ODI) ini mengetahui kesesuaian jarak antara sumber radiasi dengan meja pemeriksaan. Yang dimana uji ODI pada Linear yaitu atur gantri pada sudut 0. Pasang alat Indikator jarak mekanik pada posisi yang ditentukan, bandingkan kesesuaian indikator jarak mekanik dengan ODI, seperti gambar di bawah ini.



Gambar 5. Optical Distan Indicator (ODI)

4. Audiovisual

Uji dari *audiovisual* ini mengetahui suara dan pergerakan pasien dari dalam ruang monitor. Untuk pengujian ini di lakukan pengecekan di antara audio dan cctv sedang aktif.



Gambar 6. Audiovisual

5. Door Interlock

Uji dari *door interlock* ini untuk memastikan Pintu pengaman orang disekitar ruang radiasi tetap terjaga dari bahaya radiasi. Untuk pengujian *door interlock* ini dengan menutup penuh pintu ruang penyinaran kemudian cek fungsi interlock dengan cara membuka pintu ruang penyinaran pada detik ke 10.

Tabel 2: QA *Daily* Bulan Maret

Tgl	Dosimetri	Keselamatan		Mekanik	
	Kosistensi	Interlock Pintu	Monitor Audio- visual	Lokalisasi Laser	Indikator Jarak Optik
	Keluaran				
	Foton 6 MV				
	(2 - 3 %)	Berfungsi	Berfungsi	1 - 2 mm	1 - 2 mm
3	0,8	✓	✓	✓	✓
5	0,8	✓	✓	✓	✓
7	0,8	✓	✓	✓	✓
8	0,8	✓	✓	✓	✓
13	0,8	✓	✓	✓	✓
14	0,6	✓	✓	✓	✓
15	0,9	✓	✓	✓	✓
16	0,8	✓	✓	✓	✓
17	0,8	✓	✓	✓	✓
20	0,9	✓	✓	✓	✓
21	0,1	✓	✓	✓	✓
22	0,1	✓	✓	✓	✓
24	0,1	✓	✓	✓	✓
27	0,9	✓	✓	✓	✓
28	0,9	✓	✓	✓	✓
29	0,8	✓	✓	✓	✓
30	0,8	✓	✓	✓	✓
31	0,8	✓	✓	✓	✓

Pada tabel 2 di atas dapat diketahui pengujian yang dilakukan pada pesawat linac pada periode 3-31 Maret 2024 di Unit Pelayanan Radioterapi RSUD Bali Mandara parameter safety yang meliputi doorinterlock, *audiovisual* monitor dalam kondisi berfungsi, serta parameter mechanical yang meliputi laser dan distance indicator (ODI) masih dalam batas toleransi 2 mm sedangkan pada dosimetry dengan uji kosistensi proton masih dalam toleransi $\pm 3\%$.

Tabel 3: QA *Daily* Bulan April

Tgl	Dosimetri	Keselamatan		Mekanik	
	Kosistensi	Interlock Pintu	Monitor Audio- visual	Lokalisasi Laser	Indikator Jarak Optik
	Keluaran				
	Foton 6 MV				
	(2 - 3 %)	Berfungsi	Berfungsi	1 - 2 mm	1 - 2 mm
3	0,8	✓	✓	✓	✓
5	0,8	✓	✓	✓	✓
7	0,8	✓	✓	✓	✓
8	0,8	✓	✓	✓	✓
13	0,8	✓	✓	✓	✓
14	0,6	✓	✓	✓	✓
15	0,9	✓	✓	✓	✓
16	0,8	✓	✓	✓	✓
17	0,8	✓	✓	✓	✓
20	0,8	✓	✓	✓	✓
21	0,9	✓	✓	✓	✓
22	0,1	✓	✓	✓	✓
24	0,1	✓	✓	✓	✓
27	0,9	✓	✓	✓	✓
28	0,1	✓	✓	✓	✓
29	0,8	✓	✓	✓	✓
30	0,8	✓	✓	✓	✓
31	0,8	✓	✓	✓	✓

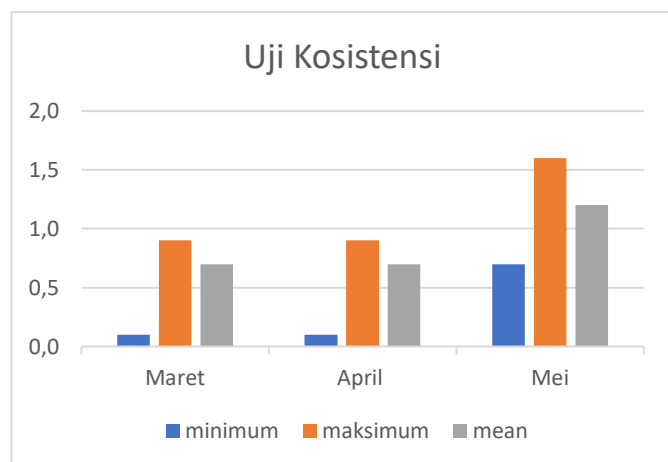
Pada tabel 3 di atas dapat diketahui pengujian yang dilakukan pada pesawat linac pada periode 3-31 April 2024 di Unit Pelayanan Radioterapi RSUD Bali Mandara parameter safety yang meliputi doorinterlock, *audiovisual* monitor dalam kondisi berfungsi, serta parameter mechanical yang meliputi laser dan distance indicator (ODI) masih dalam batas toleransi 2 mm sedangkan pada dosimetry dengan uji kosistensi proton masih dalam toleransi $\pm 3\%$.

Tabel 4: QA *Daily* Bulan Mei

Tgl	Dosimetri	Keselamatan		Mekanik	
	Kosistensi	Interlock Pintu	Monitor Audio- visual	Lokalisasi Laser	Indikator Jarak Optik
	Keluaran				
	Foton 6 MV				
	(2 - 3 %)	Berfungsi	Berfungsi	1 - 2 mm	1 - 2 mm
3	0,7	✓	✓	✓	✓
5	0,8	✓	✓	✓	✓
7	0,9	✓	✓	✓	✓
8	1,0	✓	✓	✓	✓
13	0,8	✓	✓	✓	✓
14	1,0	✓	✓	✓	✓
15	1,3	✓	✓	✓	✓
16	1,3	✓	✓	✓	✓
17	1,1	✓	✓	✓	✓
20	1,1	✓	✓	✓	✓
21	1,5	✓	✓	✓	✓
22	1,3	✓	✓	✓	✓
24	1,0	✓	✓	✓	✓
27	1,5	✓	✓	✓	✓
28	1,3	✓	✓	✓	✓
29	1,4	✓	✓	✓	✓
30	1,6	✓	✓	✓	✓
31	1,4	✓	✓	✓	✓

Pada tabel 4 di atas dapat diketahui pengujian yang dilakukan pada pesawat Cobalt60 pada periode 3-31 Maret 2024 di Unit Pelayanan Radioterapi RSUD Bali Mandara parameter safety yang meliputi doorinterlock,

audiovisual monitor dalam kondisi berfungsi, serta parameter mechanical yang meliputi laser dan distance indicator (ODI) masih dalam batas toleransi 2 mm sedangkan pada dosimetry dengan uji konsistensi proton masih dalam toleransi $\pm 3\%$.



Gambar 6. Grafik Uji Konsistensi

Pembahasan

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa penerapan *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) harian pada pesawat Linac di Unit Pelayanan Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara berjalan sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh American Association of Physicists in Medicine (AAPM) TG-40. Pengujian yang dilakukan, termasuk verifikasi terhadap *output constancy*, kalibrasi laser, *Optical Distance Indicator* (ODI), *door interlock* dan pengecekan *audiovisual* menunjukkan bahwa semua parameter operasional perangkat Linac berada dalam batas toleransi yang diharapkan, yaitu $\pm 3\%$ dari nilai referensi (Chang dkk., 2016; Klein dkk., 2009). Hal ini menegaskan bahwa QA/QC harian berperan penting dalam memastikan bahwa dosis radiasi yang diberikan kepada pasien sesuai dengan rencana pengobatan, sehingga meminimalkan risiko over-dosing atau under-dosing yang dapat berpotensi fatal bagi pasien (Dudhe dkk., 2024; Sharmin dkk., 2019).

Hasil penelitian ini mendukung hipotesis awal bahwa QA/QC harian adalah komponen krusial dalam menjaga konsistensi dan akurasi dalam pengiriman dosis radiasi. Lebih jauh lagi, hasil ini mengindikasikan bahwa penerapan prosedur QA/QC yang sistematis tidak hanya memenuhi persyaratan standar internasional, tetapi juga mampu menjaga stabilitas operasional Linac dalam kondisi klinis nyata. Konsistensi ini sangat penting, mengingat variabilitas dalam pengukuran dosis dapat berdampak langsung pada keberhasilan pengobatan kanker dan keselamatan pasien (Amurao dkk., 2023).

Jika dibandingkan dengan studi-studi sebelumnya, hasil penelitian ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan pentingnya QA/QC harian dalam mempertahankan kinerja perangkat Linac yang stabil dan konsisten. Dibandingkan dengan penelitian oleh Sharmin (2019), yang menyoroti kebutuhan akan peningkatan teknologi dalam pelacakan otomatis QA, hasil penelitian ini juga mendukung temuan tersebut, namun dengan penekanan pada pentingnya penerapan QA/QC secara konsisten terlebih dahulu sebelum mengadopsi teknologi baru. Meskipun RSUD Bali Mandara belum sepenuhnya mengintegrasikan teknologi pelacakan otomatis dalam proses QA/QC, hasil penelitian ini tetap menunjukkan bahwa metode manual yang diterapkan dengan ketat masih efektif dalam menjaga standar keselamatan dan kualitas terapi (Bhanushali, t.t.).

Implikasi praktis dari temuan penelitian ini sangat signifikan, khususnya dalam konteks manajemen radioterapi di Indonesia. Penerapan QA/QC harian yang ketat tidak hanya menjamin keselamatan pasien, tetapi juga memperkuat kemampuan fasilitas kesehatan dalam memberikan layanan radioterapi yang berkualitas tinggi. Dengan memastikan bahwa setiap sesi terapi radiasi dilakukan sesuai dengan standar internasional, rumah sakit dapat meningkatkan hasil klinis dan mengurangi risiko komplikasi yang terkait dengan pengiriman dosis radiasi yang tidak akurat (Manjali et al., 2022).

Lebih lanjut, hasil penelitian ini dapat berfungsi sebagai dasar untuk merekomendasikan peningkatan regulasi dan pedoman terkait pelaksanaan QA/QC di seluruh fasilitas radioterapi di Indonesia. Adopsi teknologi terbaru, seperti sistem pelacakan otomatis yang telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi proses QA/QC, juga perlu dipertimbangkan untuk implementasi di masa depan. Ini tidak hanya akan mengurangi variabilitas hasil pengukuran, tetapi juga meningkatkan kemampuan deteksi dini terhadap potensi masalah operasional (Klein dkk., 2009; Sharmin dkk., 2019).

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan penting tentang penerapan QA/QC harian pada Linac, ada beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, penelitian ini dilakukan di satu fasilitas kesehatan saja, yaitu RSUD Bali Mandara, yang mungkin memiliki karakteristik operasional dan infrastruktur yang berbeda dari fasilitas lain. Hal ini dapat membatasi generalisasi temuan penelitian ini. Selain itu, meskipun pengujian QA/QC yang dilakukan telah mengikuti standar AAPM TG-40, penelitian ini tidak mencakup evaluasi terhadap pengaruh variasi lingkungan dan beban kerja yang berbeda, yang bisa mempengaruhi konsistensi keluaran Linac (Sharmin et al., 2019).

Penelitian lebih lanjut disarankan untuk memperluas cakupan pengujian pada berbagai jenis Linac dan di berbagai kondisi klinis, serta mengeksplorasi penggunaan teknologi pelacakan otomatis dalam QA/QC harian. Ini akan membantu dalam mengatasi keterbatasan yang ada dan memberikan wawasan yang lebih komprehensif mengenai implementasi QA/QC di berbagai setting klinis.

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) harian pada pesawat Linac Varian CX di Unit Pelayanan Onkologi Radiasi RSUD Bali Mandara, didapatkan hasil yang menunjukkan konsistensi dan akurasi keluaran radiasi yang sesuai dengan standar AAPM TG-40. Hasil pengujian meliputi: 1). *Output constancy*: Error maksimum dalam output radiasi adalah $\pm 2,5\%$, masih dalam batas toleransi $\pm 3\%$ yang direkomendasikan oleh AAPM TG-40; 2). Kalibrasi Laser: Kalibrasi laser menunjukkan deviasi maksimal sebesar 1-2 mm, yang berada dalam batas toleransi yang ditetapkan; 3). *Optical Distance Indicator* (ODI): Pengujian ODI menunjukkan error maksimum sebesar 1-2 mm, yang juga sesuai dengan standar yang ditetapkan; 4). Pengujian Safety Interlock: Sistem interlock keselamatan berfungsi dengan baik sesuai dengan protokol keselamatan; 5). *Audiovisual*: Sistem *Audiovisual* berfungsi dengan baik sesuai dengan protokol keselamatan. Hasil-hasil ini menunjukkan bahwa sistem QA/QC yang diterapkan di RSUD Bali Mandara berhasil menjaga kinerja pesawat Linac dalam batas toleransi yang ditetapkan, memastikan keamanan dan efektivitas pengobatan radiasi yang diberikan kepada pasien.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Rumah Sakit Umum Daerah Bali Mandara telah memberikan dukungan kepada kami dalam pelaksanaan penelitian ini, sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

References

- Amurao, M., Gress, D. A., Keenan, M. A., Halvorsen, P. H., Nye, J. A., & Mahesh, M. (2023). Quality management, quality assurance, and quality control in medical physics. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 24(3). <https://doi.org/10.1002/acm2.13885>
- Bhanushali, A. (t.t.). International Journal of Advances in Engineering Research Ensuring Software Quality Through Effective Quality Assurance Testing: Best Practices and Case Studies. *International Journal of Advances in Engineering Research (IJAER)* 2023, 26. <http://www.ijaer.com>
- Chang, C. S., Tseng, Y. H., Hwang, J. M., Shih, R., & Chuang, K. S. (2016). Dosimetric characteristics and day-to-day performance of an amorphous-silicon type electronic portal imaging device. *Radiation Measurements*, 91, 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2016.04.003>
- Dixon, P., & O'sullivan, B. (2002). *Current Perspective Radiotherapy quality assurance: time for everyone to take it seriously*. www.ejconline.com
- Dudhe, S. S., Mishra, G., Parihar, P., Nimodia, D., & Kumari, A. (2024). Radiation Dose Optimization in Radiology: A Comprehensive Review of Safeguarding Patients and Preserving Image Fidelity. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.60846>
- Hall, W. A., Paulson, E., Li, X. A., Erickson, B., Schultz, C., Tree, A., Awan, M., Low, D. A., McDonald, B. A., Salzillo, T., Glide-Hurst, C. K., Kishan, A. U., & Fuller, C. D. (2022). Magnetic resonance linear accelerator technology and adaptive radiation therapy: An overview for clinicians. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 72(1), 34-56. <https://doi.org/10.3322/caac.21707>
- Hao, J., Magnelli, A., Godley, A., & Yu, J. S. (t.t.). *Use of a Linear Accelerator for Conducting In Vitro Radiobiology Experiments*. <https://www.jove.com/video/59514/>
- Haris Suharmono, B., Yuni Anggraini, I., & Dyah Astuti, S. (2020). Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Instrumen Radioterapi Pesawat LINAC. Dalam *Jurnal Biosains Pascasarjana* (Vol. 22).
- Klein, E. E., Hanley, J., Bayouth, J., Yin, F. F., Simon, W., Dresser, S., Serago, C., Aguirre, F., Ma, L., Arjomandy, B., Liu, C., Sandin, C., & Holmes, T. (2009). Task group 142 report: Quality assurance of medical accelerators. Dalam *Medical Physics* (Vol. 36, Nomor 9, hlm. 4197-4212). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1118/1.3190392>
- Kualitas, D. J., Radioterapi, P., Baru, B., Wurdianty, G., Trijoko, S., Metrologi, L., Puslitbang, R., Radiasi, K., & Nuklir -Batan, B. (t.t.). *Kendali Kualitas Laboratorium Metrologi Radiasi*.
- Kurnianto, P., Maslebu, G., Muninggar, J., & Hidayatullah, M. (2023). Quality Assurance Plan on a Linear Accelerator (LINAC) Plane on Nasopharynx Cancer (NFC) by using Prowess Panther 5.10 at Radiotherapy Installation Ken Saras Hospital. *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, 5(2), 0230202. <https://doi.org/10.26877/asset.v5i2.15247>
- Manjali, J. J., Krishnatry, R., Palta, J. R., & Agarwal, J. P. (2022). *Quality and Safety With Technological Advancements in Radiotherapy: An Overview and Journey Narrative From a Low-and Middle-Income*

- Country* *Institution.*
<https://doi.org/10.1200/GO.21>
- Moghadam, S. E., Nasser, S., Seyedi, S. S., Gholamhosseinian, H., & Momennezhad, M. (2018). Evaluation of application of EPID for rapid QC testing of linear accelerator. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 23(5), 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.rpor.2018.07.008>
- Najjar, R. (2023). Radiology's Ionising Radiation Paradox: Weighing the Indispensable Against the Detrimental in Medical Imaging. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.41623>
- Nyaichyai, K. S., Jha, D., Adhikari, K. P., Prajapati, R., & Neupane, R. (2022). Monitoring Linear Accelerator Output Constancy and Overall Performance Using the PTW Quickcheckweblne. *Journal of Nepal Physical Society*, 8(3), 66–74. <https://doi.org/10.3126/jnphysoc.v8i3.50729>
- Puyati, W., Khawne, A., Barnes, M., Zwan, B., Greer, P., & Fuangrod, T. (2020). Predictive quality assurance of a linear accelerator based on the machine performance check application using statistical process control and ARIMA forecast modeling. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 21(8), 73–82. <https://doi.org/10.1002/acm2.12917>
- Rashid, A., Ahmad, Z., Memon, M. A., & Hashim, A. S. M. (2021). Volumetric modulated arc therapy (VMAT): A modern radiotherapy technique-A single institutional experience. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 37(2), 1–7. <https://doi.org/10.12669/pjms.37.2.2647>
- Sgouros, G., Bodei, L., McDevitt, M. R., & Nedrow, J. R. (2020). Radiopharmaceutical therapy in cancer: clinical advances and challenges. Dalam *Nature Reviews Drug Discovery* (Vol. 19, Nomor 9, hlm. 589–608). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41573-020-0073-9>
- Sharmin, M. N., Ray, D. S., Bari, M. A., Uddin, M. N., & Rahman, M. S. (2019). Quality Assurance of External Beam Radiotherapy and Results of Participation in IAEA/WHO TLD Inter-comparison program for Radiotherapy Level Dosimetry at Khwaja Yunus Ali Medical College & Hospital in Bangladesh. *KYAMC Journal*, 10(3), 147–151. <https://doi.org/10.3329/kyamcj.v10i3.44418>
- Smith, K., Balter, P., Duhon, J., White, G. A., Vassy, D. L., Miller, R. A., Serago, C. F., & Fairbent, L. A. (2017). AAPM medical physics practice guideline 8.a.: Linear accelerator performance tests. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 18(4), 23–39. <https://doi.org/10.1002/acm2.12080>
- Vandewinckele, L., Claessens, M., Dinkla, A., Brouwer, C., Crijns, W., Verellen, D., & van Elmpt, W. (2020). Overview of artificial intelligence-based applications in radiotherapy: Recommendations for implementation and quality assurance. Dalam *Radiotherapy and Oncology* (Vol. 153, hlm. 55–66). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2020.09.008>