

**ACCURACY TEST OF TUBE VOLTAGE (kV) ON CONVECTION X-RAY UNIT AT THE RADIOLOGY INSTALLATION OF RSUD PROF. M. YAMIN SH****UJI AKURASI TEGANGAN TABUNG (kV) PADA PESAWAT KONVENSIONAL DI INSTALASI RADIOLOGI RSUD PROF. M. YAMIN SH****Cicillia Artitin<sup>1</sup> Devi Mutia Trinanda<sup>2</sup> Wahdini Hanifah<sup>3</sup> Chairun Nisa<sup>4</sup>**Prodi Radiologi Fakultas Vokasi Universitas Baiturrahmah Padang, Sumatera Barat, Indonesia<sup>1,2,3,4</sup>

\*cicilliaartitin@atro.unbrah.ac.id

*\*Corresponding Author***ABSTRACT**

The quality and safety of radiodiagnostic services depend on equipment performance, as they may pose risks to staff, patients, and the environment. Quality control is essential to ensure safety, including testing the accuracy of X-ray tube voltage. Deviations in tube voltage can affect image quality and patient radiation dose. This study aims to evaluate whether the tube voltage of a conventional X-ray machine remains within operational tolerance limits based on BAPETEN Regulation No. 15 of 2014 Article 41 paragraph (1). A quantitative experimental method was applied at the Radiology Installation of RSUD Prof. M. Yamin SH using a Raysafe measuring device. Measurements were conducted at voltage variations of 50 kVp, 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, and 90 kVp with a constant current of 200 mA and exposure time of 0.1 seconds. Each measurement was repeated three times, and the average was calculated. The results showed measured voltages of 50.00 kVp, 59.53 kVp, 69.07 kVp, 81.33 kVp, and 91.43 kVp with deviations of 0%, 0.78%, 1.33%, 0.41%, and 1.59%, respectively. The average deviation of 0.82% remains within the acceptable tolerance limit of <10%. Therefore, the conventional X-ray machine at RSUD Prof. M. Yamin SH is still suitable for operation.

**Keywords: Accuracy test, tube voltage (kV), Raysafe****ABSTRAK**

Kualitas dan keselamatan pelayanan radiodiagnostik bergantung pada kinerja peralatan, karena berpotensi menimbulkan risiko bagi petugas, pasien, dan lingkungan. Pengendalian mutu menjadi mekanisme utama untuk menjamin hal tersebut, salah satunya melalui uji akurasi tegangan tabung pada pesawat sinar-X. Penyimpangan tegangan tabung dapat mempengaruhi kualitas citra serta dosis radiasi yang diterima pasien. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah tegangan tabung pada pesawat sinar-X konvensional masih berada dalam batas toleransi operasional sesuai ketentuan BAPETEN No. 15 Tahun 2014 Pasal 41 ayat (1). Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif di Instalasi Radiologi RSUD Prof. M. Yamin SH dengan alat ukur Raysafe. Pengukuran dilakukan pada variasi tegangan 50 kVp, 60 kVp, 70 kVp, 81 kVp, dan 90 kVp, dengan arus 200 mA dan waktu paparan 0,1 detik yang dijaga konstan. Setiap variasi diukur tiga kali dan dihitung nilai rata-ratanya. Hasil menunjukkan tegangan terukur sebesar 50,00 kVp; 59,53 kVp; 69,07 kVp; 81,33 kVp; dan 91,43 kVp dengan deviasi masing-masing 0%; 0,78%; 1,33%; 0,41%; dan 1,59%. Rata-rata penyimpangan sebesar 0,82% masih berada di bawah batas toleransi <10%. Dengan demikian, pesawat sinar-X konvensional di RSUD Prof. M. Yamin SH dinyatakan masih layak digunakan.

**Kata Kunci: Uji akurasi, tegangan tabung (kV), Raysafe****1. PENDAHULUAN**

Kualitas dan keselamatan pelayanan radiodiagnostik secara fundamental ditentukan oleh kinerja operasional pesawat sinar-X, khususnya dalam menjaga stabilitas keluaran tegangan tabung (kilovolt peak/kVp). Tegangan tabung merupakan parameter fisik utama yang menentukan karakteristik berkas sinar-X, termasuk spektrum energi, daya tembus radiasi, serta distribusi energi foton yang dihasilkan. Variasi nilai kVp secara langsung mempengaruhi kualitas citra radiografi, terutama dalam hal kontras dan densitas gambar, serta besaran dosis radiasi

yang diterima pasien. Ketidaksesuaian antara nilai tegangan yang diatur dengan nilai aktual dapat menyebabkan degradasi kualitas diagnostik sekaligus meningkatkan risiko paparan radiasi yang tidak optimal. Oleh karena itu, akurasi dan stabilitas tegangan tabung menjadi indikator kritis dalam sistem pengendalian mutu (quality control/QC) di fasilitas radiologi (Disha & Shyti, 2023; Ada et al., 2020; Ebisawa et al., 2009; Sungita et al., 2006).

Dalam konteks proteksi radiasi dan jaminan mutu, uji akurasi tegangan tabung (kVp accuracy test) memiliki peran strategis untuk memastikan kesesuaian antara nilai yang diatur pada panel kontrol dengan nilai aktual yang dihasilkan oleh generator sinar-X. Deviasi pada parameter ini dapat mengindikasikan adanya ketidakstabilan pada sistem pembangkit tegangan tinggi, termasuk generator, transformator high-voltage (HV), maupun komponen elektronik lainnya. Regulasi nasional menetapkan bahwa batas toleransi penyimpangan tegangan tabung harus berada di bawah 10%, serta mewajibkan pelaksanaan uji kesesuaian secara berkala minimal satu kali dalam dua tahun sebagai bagian dari sistem jaminan mutu dan keselamatan radiasi (Disha & Shyti, 2023; Ada et al., 2020; Ebisawa et al., 2009; Sungita et al., 2006).

Secara teknis, kVp berperan dalam menentukan energi foton dominan dalam berkas sinar-X, sehingga sangat memengaruhi kontras radiografis antara jaringan dengan densitas berbeda. Variasi kVp yang tidak terkontrol dapat meningkatkan noise citra atau menurunkan kontras diagnostik, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi akurasi interpretasi klinis. Berbagai studi pengendalian mutu menunjukkan bahwa akurasi kVp memiliki korelasi langsung dengan kualitas citra dan dosis radiasi pasien, sehingga pengendalian parameter ini menjadi krusial dalam praktik radiologi modern (Disha & Shyti, 2023; Ada et al., 2020; Ebisawa et al., 2009).

Selain akurasi, reproduibilitas kVp (kVp reproducibility) dan variasi kVp terhadap perubahan arus (kVp variation with change of mA) juga merupakan parameter utama dalam evaluasi QC. Reproduibilitas mengukur konsistensi keluaran tegangan pada kondisi eksposur yang sama, sedangkan variasi kVp terhadap mA menilai stabilitas sistem terhadap perubahan parameter operasional. Studi di berbagai negara seperti Albania, Nigeria, Brasil, Tanzania, dan Iran menunjukkan bahwa deviasi kVp umumnya berada dalam kisaran beberapa persen, namun tetap memiliki implikasi signifikan terhadap variasi dosis pasien dan peningkatan kebutuhan pengulangan eksposur (repeat exposure) (Disha & Shyti, 2023; Ada et al., 2020; Nemati et al., 2021; Ebisawa et al., 2009; Sungita et al., 2006).

Dari perspektif proteksi radiasi, hubungan antara kVp dan dosis pasien menjadi aspek yang tidak terpisahkan. Pada prosedur radiografi seperti pelvis, thoraks, dan kranium, pemilihan kVp yang tidak akurat dapat menyebabkan peningkatan dosis radiasi tanpa peningkatan nilai diagnostik yang signifikan. Oleh karena itu, kepatuhan terhadap batas toleransi kVp dan kesesuaian antara nilai set dan nilai aktual menjadi faktor penting dalam penerapan prinsip ALARP (As Low As Reasonably Achievable) dalam praktik radiologi (Nemati et al., 2021; Ofori et al., 2012; Ebisawa et al., 2009; Rasuli et al., 2016; Fajrin et al., 2019).

Dalam implementasi pengendalian mutu, terdapat beberapa parameter teknis utama yang berkaitan langsung dengan evaluasi kVp. Pertama, uji akurasi kVp bertujuan untuk menilai kesesuaian antara nilai nominal dan nilai aktual yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X. Pengujian ini umumnya dilakukan menggunakan kVp-meter noninvasif atau detektor referensi terkalibrasi pada beberapa variasi tegangan standar dengan jarak fokus-detektor sekitar 100 cm (Disha & Shyti, 2023; Ebisawa et al., 2009; Jassal et al., 2014; Compagnone et al., 2005). Kedua, uji variasi kVp terhadap perubahan mA dilakukan untuk memastikan konsistensi keluaran tegangan terhadap perubahan arus eksposur, dengan batas toleransi deviasi yang umumnya tidak melebihi 10% (Disha & Shyti, 2023; Nemati et al., 2021; Ebisawa et al., 2009). Ketiga, uji keluaran berkas (tube output) dan half-value layer (HVL) digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara kVp, mAs, dan output radiasi, serta kualitas filtrasi berkas sinar-X. Parameter HVL memberikan informasi mengenai kualitas spektrum radiasi dan tingkat perlindungan terhadap pasien, sedangkan ketidakakuratan output dapat menyebabkan peningkatan dosis

tanpa peningkatan kualitas diagnostik (Disha & Shyti, 2023; Nemati et al., 2021; Ebisawa et al., 2009; Rasuli et al., 2016; Sungita et al., 2006). Keempat, uji linearitas dan reproduksibilitas output terhadap perubahan mAs bertujuan untuk memastikan bahwa sistem memberikan respons keluaran yang konsisten terhadap variasi parameter eksposur, sehingga dosis radiasi dapat dikontrol sesuai dengan protokol klinis yang ditetapkan (Nemati et al., 2021; Ebisawa et al., 2009; Rasuli et al., 2016).

Berdasarkan kerangka konseptual tersebut, pengujian akurasi tegangan tabung tidak hanya berfungsi sebagai prosedur teknis, tetapi juga sebagai instrumen utama dalam menjamin kualitas pelayanan radiodiagnostik dan keselamatan radiasi. Oleh karena itu, evaluasi empiris terhadap akurasi kVp pada pesawat sinar-X konvensional menjadi penting untuk memastikan bahwa sistem bekerja dalam batas toleransi yang ditetapkan serta mampu mendukung praktik radiologi yang aman, efektif, dan sesuai standar internasional.

RSUD Prof. M. Yamin SH sebagai salah satu rumah sakit rujukan memiliki intensitas penggunaan fasilitas radiologi yang tinggi, tercermin dari jumlah pemeriksaan yang melebihi 2.000 kasus dalam periode Januari hingga Maret 2025. Tingginya frekuensi operasional tersebut berpotensi menyebabkan penurunan stabilitas kinerja alat, terutama pada sistem tegangan tinggi yang bekerja secara kontinu. Kondisi ini meningkatkan urgensi dilakukannya evaluasi berkala terhadap akurasi tegangan tabung guna memastikan bahwa alat tetap beroperasi dalam batas toleransi yang ditetapkan.

Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada pengukuran dan analisis tingkat akurasi tegangan tabung pada pesawat sinar-X konvensional sebagai bagian dari implementasi kendali mutu. Hasil evaluasi ini diharapkan dapat memberikan dasar empiris dalam menilai kelayakan operasional alat, mendukung upaya peningkatan kualitas pelayanan radiodiagnostik, serta memperkuat aspek keselamatan radiasi bagi pasien dan tenaga kesehatan.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen yang bertujuan untuk menghasilkan data numerik yang objektif dan terukur, sehingga memungkinkan dilakukan analisis komparatif terhadap standar yang telah ditetapkan. Fokus utama penelitian adalah pengujian akurasi tegangan tabung (kilovolt peak/kVp) pada pesawat sinar-X konvensional, dengan menilai tingkat kesesuaian antara nilai tegangan yang diatur pada control panel (set value) dan nilai tegangan aktual yang dihasilkan oleh sistem. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan validitas empiris dalam mengevaluasi performa teknis peralatan radiologi secara langsung di lapangan.

Penelitian dilaksanakan di Instalasi Radiologi RSUD Prof. M. Yamin SH pada bulan Agustus 2025. Pemilihan lokasi didasarkan pada pertimbangan operasional, yaitu tingginya frekuensi penggunaan pesawat sinar-X dalam pelayanan diagnostik serta fakta bahwa uji kesesuaian terakhir dilakukan pada tahun 2022. Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan evaluasi ulang terhadap stabilitas dan akurasi kinerja alat, mengingat potensi penurunan performa akibat intensitas penggunaan yang tinggi dan faktor usia komponen.

Prosedur pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur standar, yaitu Raysafe, yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi dalam mendeteksi keluaran tegangan tabung sinar-X. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi tegangan yang umum digunakan dalam praktik klinis, dengan parameter arus dan waktu paparan dijaga konstan untuk mengisolasi variabel tegangan sebagai fokus utama analisis. Setiap variasi tegangan diukur sebanyak tiga kali pengulangan untuk meningkatkan reliabilitas data dan meminimalkan pengaruh fluktuasi sesaat. Nilai rata-rata dari hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan sebagai representasi keluaran tegangan aktual.

Perhitungan penyimpangan tegangan dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\text{Error} = |kV_{\text{set}} - kV_{\text{ukur}}| / kV_{\text{set}} \times 100\%$$

Rumus ini digunakan untuk mengkuantifikasi besarnya deviasi relatif antara nilai tegangan yang diatur dengan nilai yang terukur, sehingga dapat memberikan indikator tingkat akurasi sistem secara proporsional.

Hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan standar batas toleransi yang telah ditetapkan dalam regulasi, yaitu kurang dari 10% sesuai dengan ketentuan BAPETEN No. 15 Tahun 2014. Evaluasi ini bertujuan untuk menentukan kelayakan operasional pesawat sinar-X dalam konteks keselamatan radiasi dan kualitas pelayanan diagnostik. Apabila hasil pengukuran menunjukkan penyimpangan yang melebihi batas toleransi, maka diperlukan tindakan korektif berupa kalibrasi ulang, perbaikan komponen, atau bahkan penghentian sementara operasional alat hingga memenuhi standar yang dipersyaratkan. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap potensi risiko dapat dikendalikan secara sistematis melalui mekanisme kendali mutu yang terstruktur.

### 3. HASIL

Pengujian dilakukan pada variasi tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV, 81 kV, dan 90 kV dengan arus 200 mA dan waktu 0,1 detik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh nilai tegangan yang dihasilkan berada dalam rentang toleransi yang ditetapkan, dengan rata-rata penyimpangan sebesar 0,82%. Hal ini mengindikasikan bahwa performa pesawat sinar-X masih stabil dan sesuai standar operasional.



Gambar 1. Hasil pengukuran Tegangan



Gambar 2 Hasil Pengukuran Tegangan

**Tabel 1 Hasil Persentase Penyimpangan**

Tegangan Tabung	Hasil Rata-rata	Error/Selisih Pergeseran
50	50	0%
60	59,53	0,78%
70	69,07	1,33%
81	81,33	0,41%
90	91,43	1,59%

**Rata-rata Penyimpangan : 0,82%**

Tabel 1 diatas menyajikan hasil pengukuran tegangan tabung sinar-X pada berbagai variasi pengaturan tegangan (kVp) yang dibandingkan dengan nilai keluaran aktual yang diukur menggunakan alat ukur Raysafe. Parameter yang dianalisis meliputi nilai tegangan yang diatur (set value), hasil pengukuran rata-rata (measured value), serta persentase penyimpangan (error) antara keduanya.

Secara umum, hasil menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara tegangan yang diatur pada panel kontrol dengan tegangan aktual yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X. Pada pengaturan 50 kV, nilai tegangan terukur identik dengan nilai yang diatur, yaitu sebesar 50 kV, sehingga tidak ditemukan penyimpangan (0%). Kondisi ini menunjukkan tingkat akurasi optimal pada tegangan rendah, yang mengindikasikan kestabilan sistem generator dalam menghasilkan tegangan sesuai input.

Pada pengaturan 60 kV, diperoleh nilai rata-rata tegangan terukur sebesar 59,53 kV dengan penyimpangan sebesar 0,78%. Meskipun terjadi deviasi, nilai tersebut masih tergolong kecil dan menunjukkan bahwa sistem masih mampu mempertahankan kestabilan keluaran tegangan. Hal serupa juga terlihat pada pengaturan 70 kV, di mana nilai terukur sebesar 69,07 kV dengan penyimpangan 1,33%. Peningkatan nilai penyimpangan pada titik ini mulai menunjukkan adanya kecenderungan fluktuasi yang lebih besar seiring meningkatnya tegangan yang digunakan.

Pada pengaturan 81 kV, nilai tegangan terukur sebesar 81,33 kV dengan penyimpangan sebesar 0,41%. Nilai ini relatif lebih kecil dibandingkan pada 70 kV, yang mengindikasikan bahwa fluktuasi tegangan tidak selalu bersifat linier terhadap peningkatan tegangan, melainkan dipengaruhi oleh kondisi internal sistem, termasuk stabilitas generator dan respons komponen elektronik.

Sementara itu, pada pengaturan 90 kV diperoleh nilai tegangan terukur sebesar 91,43 kV dengan penyimpangan terbesar, yaitu 1,59%. Nilai ini merepresentasikan deviasi tertinggi dalam pengukuran, yang dapat dikaitkan dengan peningkatan kompleksitas kerja sistem pada tegangan tinggi. Pada kondisi ini, komponen pembangkit tegangan bekerja lebih intensif sehingga potensi terjadinya fluktuasi menjadi lebih besar. Secara keseluruhan, rata-rata penyimpangan yang diperoleh dari seluruh variasi tegangan adalah sebesar 0,82%. Nilai ini menunjukkan bahwa performa tegangan tabung sinar-X masih berada dalam kondisi sangat baik dan stabil. Jika dibandingkan dengan standar toleransi yang ditetapkan oleh regulasi, yaitu kurang dari 10%, maka seluruh hasil pengukuran masih jauh berada di bawah ambang batas tersebut.

Temuan ini mengindikasikan bahwa pesawat sinar-X konvensional yang diuji memiliki tingkat akurasi tegangan yang tinggi dan layak digunakan dalam pelayanan radiodiagnostik.

Selain itu, rendahnya nilai penyimpangan juga mencerminkan efektivitas program kendali mutu yang telah diterapkan. Dalam konteks praktis, kestabilan tegangan tabung memiliki implikasi langsung terhadap kualitas citra radiografi dan keselamatan pasien, karena variasi tegangan dapat mempengaruhi kontras gambar serta dosis radiasi yang diterima.

Dengan demikian, analisis pada Tabel 1 menegaskan bahwa meskipun terdapat variasi kecil dalam penyimpangan tegangan pada setiap titik pengukuran, seluruh nilai masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima. Hal ini memperkuat pentingnya pelaksanaan uji akurasi secara berkala sebagai bagian dari sistem jaminan mutu untuk memastikan kinerja alat tetap optimal dan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

#### **4. PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi penyimpangan tegangan tabung pada setiap pengaturan tegangan. Pada 50 kV diperoleh penyimpangan sebesar 0%, pada 60 kV sebesar 0,78%, pada 70 kV sebesar 1,33%, pada 81 kV sebesar 0,41%, dan pada 90 kV sebesar 1,59%. Penyimpangan tertinggi terjadi pada 90 kV, sedangkan yang terendah pada 50 kV.

Penyimpangan yang lebih besar pada tegangan tinggi berkaitan dengan faktor instrumental, terutama kestabilan generator dan kondisi komponen internal tabung sinar-X. Pada tegangan tinggi, sistem pembangkit tegangan bekerja lebih kompleks sehingga potensi fluktuasi meningkat. Tegangan yang lebih besar menghasilkan daya tembus sinar-X yang lebih tinggi, namun juga meningkatkan kemungkinan variasi output akibat ketidakstabilan sistem konversi tegangan.

Selain faktor alat, perbedaan nilai juga dapat dipengaruhi oleh sensitivitas alat ukur Raysafe dalam membaca tegangan tinggi. Variasi kecil yang terdeteksi tetap berada dalam batas wajar dan tidak signifikan secara operasional. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan tabung berbanding lurus dengan potensi fluktuasi, meskipun masih dalam batas toleransi yang ditetapkan.

Seluruh nilai penyimpangan yang diperoleh berada di bawah ambang batas 10% sesuai Peraturan BAPETEN No. 15 Tahun 2014. Hal ini menunjukkan bahwa kinerja pesawat sinar-X masih stabil dan memenuhi standar keselamatan. Jika dibandingkan dengan hasil uji kesesuaian tahun 2022, nilai penyimpangan relatif konsisten, yang mengindikasikan tidak adanya degradasi signifikan pada performa alat. Kondisi ini menegaskan bahwa program kendali mutu yang dilakukan telah berjalan efektif dalam menjaga kualitas citra, keselamatan pasien, dan keamanan kerja petugas radiologi.

#### **5. KESIMPULAN**

Hasil uji tegangan tabung sinar-X pada pesawat konvensional di RSUD Prof. M. Yamin SH menunjukkan bahwa seluruh nilai pengukuran berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan oleh regulasi. Pada pengaturan 50 kV diperoleh nilai terukur sebesar 50,00 kV dengan penyimpangan 0%, yang menunjukkan tingkat akurasi optimal tanpa adanya deviasi antara nilai set dan nilai keluaran. Pada pengaturan 60 kV, nilai terukur sebesar 59,53 kV dengan penyimpangan 0,78%, sedangkan pada 70 kV diperoleh nilai 69,07 kV dengan penyimpangan 1,33%. Pada pengaturan 81 kV, nilai terukur sebesar 81,33 kV dengan penyimpangan 0,41%, dan pada 90 kV diperoleh nilai 91,43 kV dengan penyimpangan terbesar yaitu 1,59%.

Pola hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan tabung cenderung diikuti oleh peningkatan variasi penyimpangan, meskipun tidak bersifat linier pada setiap titik pengukuran. Nilai selisih terbesar tercatat pada pengaturan 90 kV sebesar 1,43 kV, yang mengindikasikan adanya fluktuasi yang lebih signifikan pada tegangan tinggi. Kondisi ini dapat dijelaskan melalui karakteristik kerja generator tegangan tinggi yang mengalami peningkatan beban operasional, sehingga potensi ketidakstabilan output menjadi lebih besar dibandingkan pada tegangan rendah.

Rata-rata penyimpangan yang diperoleh sebesar 0,82% menunjukkan bahwa tingkat akurasi tegangan tabung berada dalam kategori sangat baik. Nilai ini secara signifikan lebih rendah dibandingkan batas toleransi maksimum yang ditetapkan, yaitu kurang dari 10% sesuai dengan ketentuan BAPETEN No. 15 Tahun 2014 Pasal 41 ayat (1). Dengan demikian, secara teknis pesawat sinar-X konvensional yang diuji masih memenuhi standar kelayakan operasional dan aman digunakan dalam pelayanan radiodiagnostik.

Konsistensi nilai penyimpangan yang relatif kecil pada seluruh variasi tegangan juga mencerminkan stabilitas sistem internal alat, termasuk performa generator, transformator tegangan tinggi, serta komponen kontrol elektronik. Stabilitas ini memiliki implikasi langsung terhadap kualitas citra radiografi, khususnya dalam menjaga kontras dan densitas gambar tetap optimal, serta dalam mengendalikan dosis radiasi yang diterima pasien agar tetap sesuai dengan prinsip proteksi radiasi.

Meskipun seluruh hasil masih berada dalam batas toleransi, pelaksanaan uji kesesuaian secara berkala tetap menjadi keharusan dalam kerangka program jaminan mutu. Pengujian berkala memungkinkan deteksi dini terhadap potensi degradasi performa alat akibat faktor penggunaan intensif, penuaan komponen, maupun variasi kondisi operasional. Selain itu, kegiatan ini berfungsi sebagai mekanisme pengendalian risiko untuk menjamin keselamatan pasien dan petugas radiologi, serta memastikan bahwa kualitas layanan diagnostik tetap berada pada standar yang dipersyaratkan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ada, A., Rachael, U., Adebayo, A., Oludotun, A., Comfort, F., & Akinpelu, A. (2020). Performance characteristics of radiographic equipment in selected healthcare institutions in Southwest Nigeria. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 8(B), 832–837. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.4925>
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2014). Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 15 Tahun 2014 tentang keselamatan radiasi dalam produksi pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. BAPETEN.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2018). Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. BAPETEN.
- Bushong, S. C. (2017). *Radiologic science for technologists: Physics, biology, and protection* (11th ed.). Mosby Elsevier.
- Compagnone, G., Pagan, L., & Bergamini, C. (2005). Comparison of six phantoms for entrance skin dose evaluation in 11 standard X-ray examinations. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 6(1), 101–113. <https://doi.org/10.1120/jacmp.2023.25326>
- Disha, L., & Shyti, M. (2023). Evaluation of the primary quality control parameters on diagnostic radiographic equipment in governmental and private healthcare institutions in Albania. <https://doi.org/10.37392/rapproc.2023.23>
- Ebisawa, M., Magon, M., & Mascarenhas, Y. (2009). Evolution of X-ray machine quality control acceptance indices. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 10(4), 252–259. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v10i4.3007>
- Fajrin, H., Rahmat, Z., & Sukwono, D. (2019). Kilovolt peak meter design as a calibrator of X-ray machine. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 9(4), 2328–2335. <https://doi.org/10.11591/ijece.v9i4.pp2328-2335>
- International Atomic Energy Agency. (2014). *Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students*.
- International Journal for Multidisciplinary Research. (2024). Optimized pediatric X-ray doses through automatic tube voltage control in conventional machines, 6(4). <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i04.26292>
- Jassal, K., Munshi, A., Sarkar, B., Paul, S., Sharma, A., Mohanti, B., & Sachdev, K. (2014).

- Validation of an integrated patient positioning system: Exactrac and iViewGT on synergy platform. *International Journal of Cancer Therapy and Oncology*, 2(2), 020212. <https://doi.org/10.14319/ijcto.0202.12>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2009). Petunjuk teknis uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik. Direktorat Jenderal Pelayanan Medik.
- Nemati, F., Mohammadi, M., & Gholami, M. (2021). A survey on exposure parameters variation due to aging in radiology devices. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 11(3). <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.1154>
- Ofori, E., Antwi, W., Scutt, D., & Ward, M. (2012). Optimization of patient radiation protection in pelvic X-ray examination in Ghana. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 13(4), 160–171. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v13i4.3719>
- Rasad, S. (2005). Radiologi diagnostik. Universitas Indonesia Press.
- Rasuli, B., Mahmoud-Pashazadeh, A., Ghorbani, M., Juybari, R., & Naserpour, M. (2016). Patient dose measurement in common medical X-ray examinations in Iran. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 17(1), 374–386. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i1.5860>
- Sungita, Y., Mdoe, S., & Msaki, P. (2006). Diagnostic X-ray facilities as per quality control performances in Tanzania. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 7(4), 66–73. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v7i4.2291>