

Uji Kesesuaian Pesawat MSCT Scan di Salah Satu Rumah Sakit Umum Denpasar

Mario Fulgentio A. Bili¹, I Made Lana Prasetya², Ni Made Dwijayanti³

^{1,2}Aktek Radiodiagnostik Dan Radioterapi Bali, Indonesia

³Unit Radiologi Rumah Sakit Umum Denpasar, Indonesia

*Corresponding author: ogandbilly@gmail.com

Abstrak: Uji Kesesuaian Pesawat MSCT Scan di Salah satu RS Denpasar *Multi-Slice Computed Tomography* (MSCT) Scan merupakan modalitas pencitraan diagnostik yang memanfaatkan sinar-X dan teknologi komputer untuk menghasilkan citra penampang tubuh dengan resolusi tinggi sehingga mampu memberikan informasi anatomi secara detail. Kualitas citra CT Scan sangat dipengaruhi oleh performa pesawat, sehingga diperlukan program *quality control* melalui uji kesesuaian untuk memastikan seluruh komponen sistem bekerja secara optimal dan menghasilkan citra yang akurat. Uji kesesuaian dilakukan secara berkala untuk mengevaluasi parameter kualitas citra, seperti akurasi *CT number*, keseragaman (*uniformity*), dan artefak, sehingga mutu pelayanan radiologi tetap terjaga sesuai standar yang berlaku. Di Unit Radiologi Salah satu RS di Denpasar, pesawat MSCT Scan pernah mengalami gangguan kualitas citra berupa artefak yang menetap sehingga dilakukan penggantian tabung sinar-X (*X-ray tube*) pada bulan Januari-Maret tahun 2022. Kondisi tersebut menjadi dasar perlunya dilakukan uji kesesuaian untuk memastikan bahwa performa pesawat setelah penggantian komponen utama tetap memenuhi persyaratan dan mampu menghasilkan kualitas citra diagnostik yang optimal.

Kata Kunci : MSCT Scan; *CT number*; *Water phantom*; Artefak; *Quality control*

Abstrak: *Suitability Test of MSCT Scan at a Hospital in Denpasar Multi-Slice Computed Tomography (MSCT) is a diagnostic imaging modality that utilizes X-rays and computer technology to produce high-resolution cross-sectional images, providing detailed anatomical information. The quality of CT images is highly dependent on the performance of the CT scanner. Therefore, conformity testing is conducted as part of a quality control program to ensure that the CT scanner operates according to established standards. Conformity testing is performed periodically to evaluate image quality parameters, including CT number accuracy, CT number uniformity, and image artifacts, thereby maintaining the quality of radiological services in accordance with applicable standards. At the Radiology Unit of General Hospital Denpasar, the MSCT scanner had previously experienced persistent image artifacts that could not be resolved through routine calibration and maintenance, requiring replacement of the X-ray tube as a corrective measure Between January to March 2022. This condition highlighted the need for conformity testing to verify that the scanner's performance after the replacement of the major component complied with the required standards and was capable of producing optimal diagnostic image quality.*

Keywords : MSCT Scan; *CT number*; *Water phantom*; *Artifact*; *Quality control*

Pendahuluan

Computed Tomography Scan (CT Scan) merupakan salah satu modalitas radiologi diagnostik yang menghasilkan citra potong lintang tubuh berdasarkan perbedaan atenuasi sinar-X pada jaringan dan proses rekonstruksi komputer dari proyeksi sinar-X (Withers et al., 2021). Perkembangan teknologi CT menuju Multi-Slice Computed Tomography (MSCT) memungkinkan pemindaian beberapa irisan tubuh secara simultan, mempercepat waktu akuisisi, dan menghasilkan citra yang lebih detail dibandingkan CT konvensional (Booij, Budde, Dijkshoorn, & van Straten, 2020). Namun, peningkatan teknologi tersebut harus diimbangi dengan program kendali mutu karena kualitas citra CT sangat dipengaruhi oleh kestabilan sistem detektor, kalibrasi pesawat, parameter eksposi, dan proses rekonstruksi citra (Mansour et al., 2016; Karius & Bert, 2022; Prasetya & Arthana, 2022). Apabila performa pesawat tidak sesuai, citra yang dihasilkan

dapat mengalami penyimpangan nilai atenuasi, peningkatan noise, ketidakseragaman citra, serta artefak yang berpotensi mengganggu interpretasi diagnostik (Manson et al., 2016; Sidi et al., 2020; Santi, 2022).

Salah satu parameter penting dalam uji kesesuaian CT adalah *CT number* atau *Hounsfield unit* (HU). *CT number* merupakan nilai kuantitatif yang menggambarkan tingkat atenuasi suatu material terhadap sinar-X dan digunakan dalam interpretasi citra CT (Al-Hayek et al., 2022; Withers et al., 2021). Air digunakan sebagai material referensi karena secara teoritis memiliki nilai *CT number* mendekati 0 HU, sehingga pengukuran *CT number* menggunakan *water phantom* menjadi metode penting untuk menilai kestabilan kalibrasi sistem CT (Greene-Donnelly & Ogden, 2016; Sidi et al., 2020; Tude et al., 2024). Nilai *CT number* tidak selalu bersifat absolut karena dapat dipengaruhi oleh jenis scanner, protokol pemeriksaan, posisi objek, ukuran *phantom* atau pasien, serta algoritma rekonstruksi citra (Al-Hayek et al., 2022; Booij et al., 2020). Variasi tube voltage dan mAs juga terbukti dapat memengaruhi parameter kualitas citra CT pada *phantom*, sehingga parameter teknis pemeriksaan perlu dicatat dan dijaga konsisten dalam proses uji kesesuaian (Anam et al., 2024; Irsal et al., 2020).

Evaluasi kualitas citra CT berbasis phantom telah banyak digunakan dalam program quality control. Mansour, Mokhtar, Sarhan, Ahmed, and El-Diasty (2016) melakukan evaluasi kualitas citra CT menggunakan phantom American College of Radiology (ACR) dengan menilai akurasi CT number, uniformity, resolusi kontras, resolusi spasial, dan artefak. Manson et al. (2016) menggunakan Catphan700 untuk mengevaluasi kualitas citra pada CT 128 slice melalui parameter CT number, noise, uniformity, signal-to-noise ratio, dan contrast-to-noise ratio. Penelitian Sidi, Hussain, Ya'u, and Garba (2020) secara khusus mengevaluasi CT number for water, field uniformity, image noise, dan contrast resolution, sehingga relevan sebagai dasar metode pengukuran berbasis water phantom. Gulliksrud, Stokke, and Trægde Martinsen (2014) juga menjelaskan bahwa evaluasi kualitas citra CT menggunakan phantom dapat mencakup variasi CT number, uniformity, dan low contrast resolution, sehingga pengukuran CT number dan keseragaman citra perlu dilakukan dengan metode yang konsisten. Karius dan Bert (2022) menegaskan bahwa quality assurance berbasis phantom dapat digunakan untuk menilai CT number accuracy, uniformity, noise, spatial resolution, contrast-noise ratio, dan slice thickness secara kuantitatif. Selain itu, Nowik, Bujila, Poludniowski, and Fransson (2015) menunjukkan bahwa pemantauan quality control CT dapat dilakukan secara berkala melalui key performance indicators dari citra phantom QA, termasuk parameter CT number, noise, dan artefak. Pada penelitian lokal, evaluasi berbasis water phantom juga digunakan untuk menilai akurasi CT number, keseragaman CT number, dan artefak pada pesawat CT Scan atau MSCT (Prasetya & Arthana, 2022; Santi, 2022; Tude et al., 2024).

Selain CT number, artefak citra juga menjadi indikator penting dalam uji kesesuaian CT. Artefak dapat muncul akibat ketidakseragaman respons detektor, gangguan kalibrasi, variasi

intensitas sinar-X, objek eksternal, atau gangguan pada proses rekonstruksi citra (Selim et al., 2022; Withers et al., 2021). Ring artifact tampak sebagai pola lingkaran terang atau gelap pada citra CT dan dapat berkaitan dengan ketidakseragaman respons detektor atau kalibrasi yang tidak sempurna (Selim, Rashed, Atiea, & Kudo, 2022). Wedekind, Castillo, and Magnor (2022) menyatakan bahwa ring artifact juga dapat berhubungan dengan elemen detektor yang tidak ternormalisasi dengan baik atau mengalami gangguan. Penelitian lokal terkait uji kesesuaian CT Scan Multislice di RSUD Kertha Usada menunjukkan bahwa pengukuran CT number dan evaluasi artefak menggunakan water phantom dapat digunakan untuk menilai apakah pesawat CT masih memenuhi batas toleransi kualitas citra (Putra, Prasetya, & Wijaya, 2025).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, masih terdapat kebutuhan untuk melakukan evaluasi lokal terhadap performa pesawat MSCT di setiap fasilitas pelayanan kesehatan karena karakteristik performa alat dapat dipengaruhi oleh usia operasional, intensitas penggunaan, riwayat pemeliharaan, serta penggantian komponen utama (Al-Hayek et al., 2022; Karius & Bert, 2022; Prasetya & Arthana, 2022). Di Salah satu RS di Denpasar, pesawat MSCT Scan pernah mengalami gangguan kualitas citra berupa artefak yang menetap sehingga dilakukan tindakan perbaikan melalui penggantian tabung sinar-X (*X-ray tube*) pada bulan Januari-Maret tahun 2022. Setelah tindakan tersebut, diperlukan uji kesesuaian untuk memastikan bahwa performa pesawat telah kembali memenuhi standar yang ditetapkan dan mampu menghasilkan kualitas citra diagnostik yang akurat, seragam, serta bebas dari artefak yang dapat memengaruhi interpretasi klinis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian pesawat MSCT Scan di Salah satu RS di Denpasar berdasarkan pengukuran CT number menggunakan water phantom dan penilaian artefak citra sebagai bagian dari pelaksanaan quality control.

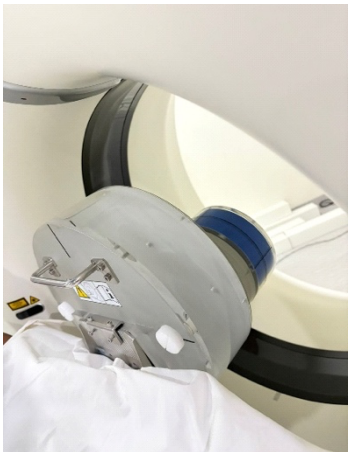
Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan observasi. Rancangan ini digunakan untuk mengevaluasi performa pesawat MSCT Scan berdasarkan parameter kualitas citra, yaitu *CT number* pada *water phantom* dan artefak citra. Penelitian dilaksanakan di Unit Radiologi Salah satu RS di Denpasar pada pesawat MSCT Scan yang digunakan dalam pelayanan rutin. Waktu penelitian dilakukan pada bulan April – Mei tahun 2026.

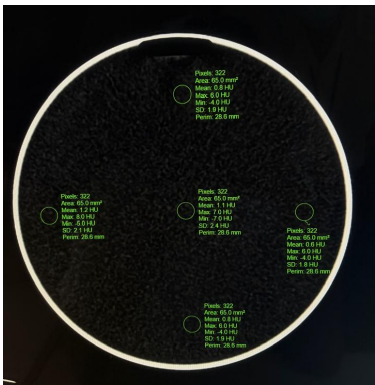
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan setiap hari selama 30 hari pada 6 April-11 Mei 2026 pada citra hasil pemindaian *water phantom* menggunakan pesawat MSCT Scan di Unit Radiologi Salah satu RS di Denpasar. Parameter teknis pemindaian yang digunakan meliputi kVp sebesar 120 kVp, mAs sebesar 266 mAs, *slice thickness* 10 mm, FOV 250 mm. Pencatatan parameter teknis penting

dilakukan karena variasi kVp, mAs, dan *slice thickness* dapat memengaruhi karakteristik kualitas citra CT dan nilai *CT number* yang terukur (Irsal et al., 2020; Tude et al., 2024). Seluruh citra yang dianalisis memenuhi kriteria inklusi, yaitu posisi *phantom* berada pada isocenter gantry, area air tampak homogen, dan citra dapat dianalisis menggunakan workstation atau perangkat lunak pembaca DICOM.



Gambar 1. Peletakan posisi *water phantom* tanggal 10 April 2026



Gambar 2. Peletakan ROI Pusat Dan Tepi masing-masing pada pusat, arah jam 12, arah jam 3, arah jam 6 dan arah jam 9

Tabel 1. Hasil Pengukuran Keseragaman *CT number* Selama 30 Hari dari tanggal 6 April-11 Mei 2026

Data	Rata-rata pengukuran keseragaman selama 30 hari
Arah jam 12	0,44
Arah jam 3	-0,1
Arah jam 6	0,32
Arah jam 12	0,01
Pusat	0,31

Hasil Penilaian Akurasi *CT number*

Berdasarkan hasil observasi selama 30 hari menunjukkan bahwa hasil penelitian CT Scan Multislice memenuhi standar kesesuaian akurasi sesuai PERKA BAPETEN NO 2 2022 dengan nilai dalam batas toleransi -4 HU hingga 4 HU.



Gambar 3. Hasil evaluasi artefak normal tanggal 22 April tahun 2026

Berdasarkan hasil observasi visual selama 30 hari menunjukkan bahwa pada evaluasi artefak, distribusi **gray scale** pada water phantom tampak seragam di seluruh area tanpa adanya garis, lingkaran, maupun perbedaan intensitas keabuan. Keseragaman gray scale menunjukkan bahwa sistem detektor, tabung sinar-X, dan proses rekonstruksi citra bekerja dengan baik sehingga tidak ditemukan artefak yang dapat menurunkan kualitas citra CT Scan, sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil pengamatan penilaian artefak, performa pesawat MSCT Scan di Salah satu RS di Denpasar dikategorikan sesuai

Penelitian ini dilakukan menggunakan pesawat MSCT Scan 128 *Slice* yang diproduksi oleh *United Imaging* dengan nomor seri 600552 dan mulai diinstal di Salah satu RS di Denpasar pada tahun 2021. Pesawat ini menggunakan satu tabung sinar-X (*single X-ray tube*) sebagai sumber radiasi dengan kemampuan menghasilkan tegangan tabung maksimum sebesar 140 kV dan arus tabung maksimum sebesar 667 mA. Spesifikasi tersebut menunjukkan bahwa pesawat memiliki kemampuan menghasilkan keluaran sinar-X yang memadai untuk mendukung pemeriksaan diagnostik dengan kualitas citra yang tinggi. Teknologi 128 *slice* memungkinkan proses akuisisi data berlangsung lebih cepat dengan cakupan anatomi yang lebih luas dalam satu rotasi *gantry*, sehingga berpotensi mengurangi artefak akibat pergerakan pasien serta meningkatkan resolusi spasial citra. Selain itu, kapasitas tegangan dan arus tabung yang tinggi memberikan fleksibilitas dalam pemilihan parameter eksposi sesuai kondisi klinis pasien sehingga mendukung kestabilan nilai CT number dan keseragaman citra.

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian aktivitas pengamatan serta pencatatan secara sistematis terhadap data yang dihasilkan oleh pesawat MSCT Scan di salah satu RS di

Denpasar. Metodologi penelitian mencakup pemanfaatan *water phantom*, penentuan faktor eksposi, penetapan *region of interest* (ROI), serta penilaian artefak, yang dilakukan pada bulan April hingga Mei 2026 di salah satu Unit Radiologi di Denpasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyimpangan *CT number* melalui *water phantom* pada pesawat MSCT Scan di Unit Radiologi Salah satu RS di Denpasar. Hasil penelitian yang diperoleh tersaji dalam Tabel 1 sebagai berikut: Hasil rata-rata dari lima pengukuran nilai *CT number* pada *water phantom* mencakup ROI pada posisi arah jam 12 sebesar 0,44 HU, ROI pada posisi arah jam 3 sebesar -0,1 HU, ROI pada posisi arah jam 6 sebesar 0,32 HU, ROI pada posisi arah jam 9 sebesar 0,01 HU, dan ROI pada posisi pusat sebesar 0,31 HU. Seluruh nilai dari kelima ROI tersebut tidak melampaui batas toleransi yang ditetapkan sebesar 2 HU berdasarkan PERKA BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022. Kondisi ini menunjukkan bahwa koefisien atenuasi sinar-X pada setiap slice memiliki karakteristik yang cenderung homogen, sehingga *uniformity* citra yang dihasilkan berada dalam kategori baik dan nilai *CT number* yang diperoleh dari setiap slice memiliki tingkat homogenitas yang tinggi. Penemuan tersebut diperkuat dengan hasil selisih antara ROI pusat dengan ROI tepi yang berada dalam rentang nilai $\Delta CT \leq 2$.

Kestabilan nilai *CT number* dan keseragaman citra merupakan indikator penting dalam evaluasi kualitas citra CT, karena penyimpangan nilai *CT number* dapat menunjukkan adanya gangguan pada proses kalibrasi, respons detektor, atau rekonstruksi citra. Hal ini sejalan dengan Gulliksrud et al. (2014), yang menyatakan bahwa variasi *CT number* dan *uniformity* pada *phantom quality assurance* dapat digunakan untuk menilai kualitas citra CT secara kuantitatif. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Santi (2022) dan Tude et al. (2024) yang menunjukkan bahwa pengukuran *CT number* pada *water phantom* dapat digunakan untuk menilai akurasi dan keseragaman *CT number* pada pesawat MSCT.

Berdasarkan selisih nilai antara ROI pusat dan ROI tepi yang berada dalam rentang toleransi $\Delta CT \leq 2$, dapat diverifikasi bahwa respons detektor berada dalam kondisi optimal. Distribusi dosis yang diterima pasien cenderung merata, sehingga hal ini memberikan pengaruh positif terhadap kualitas citra yang dihasilkan dalam hal densitas, ketajaman, detail, dan kontras yang memadai pada proses rekonstruksi citra. Dalam konteks penilaian akurasi *CT number*, nilai *CT number* dari kelima slice dicatat secara sistematis dan kemudian dibandingkan dengan batas toleransi yang telah ditetapkan, yaitu sebesar -4 hingga 4 HU. Nilai *CT number* yang berada dalam rentang toleransi tersebut mengindikasikan bahwa respons detektor masih dalam kondisi baik dan hasil rekonstruksi citra masih dapat diandalkan. Untuk menentukan adanya atau ketiadaan penyimpangan dari kelima nilai tersebut, maka dilakukan metode perhitungan sesuai standar BAPETEN. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat tersebut lolos uji, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat penyimpangan nilai *CT number* pada pesawat CT Scan yang diuji. Temuan ini juga sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prasetya & Arthana (2022), yang melaporkan bahwa nilai *CT number water phantom* berada dalam batas toleransi pada uji

quality assurance CT Scan.

Melalui metode pengolahan data ini, nilai *CT number* pada lima posisi yang berbeda dapat diamati secara jelas, yaitu sebesar 0,44; -0,1; 0,32; 0,01; dan 0,31 HU. Kelima nilai tersebut tidak melampaui batas toleransi yang telah ditetapkan oleh BAPETEN, yaitu sebesar -4 hingga 4 HU. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat penyimpangan atau dengan kata lain, perangkat tersebut telah lolos uji kesesuaian. Hal ini mengindikasikan bahwa koefisien atenuasi sinar-X untuk air yang sampai ke detektor masih berada dalam kondisi optimal. Kondisi tersebut akan memberikan dampak positif terhadap proses pengukuran kelainan pada organ yang diperiksa, sehingga menghasilkan informasi diagnostik yang tepat dan akurat. Selain itu, keseragaman gambar dari hasil yang diperoleh juga berada dalam kategori baik. Kondisi ini dibuktikan oleh hasil pengukuran program BAPETEN yang menunjukkan bahwa selisih antara ROI pusat dengan ROI perifer atau tepi tidak melampaui batas toleransi yang ditetapkan, yaitu sebesar $\Delta CT \leq 2$. Stabilitas nilai *CT number* dan tidak ditemukannya artefak juga menunjukkan bahwa protokol pemeriksaan dan proses rekonstruksi citra berjalan baik. Hal ini penting karena kualitas citra CT dipengaruhi oleh parameter akuisisi, termasuk kVp dan mAs, serta proses rekonstruksi citra (Irsal et al., 2020; Booij et al., 2020; Withers et al., 2021). Tidak ditemukannya artefak pada citra *water phantom* menunjukkan bahwa sistem detektor, proses kalibrasi, dan rekonstruksi citra masih bekerja dengan baik. Nowik et al. (2015) menjelaskan bahwa *quality control* CT dapat dilakukan melalui pemantauan berkala terhadap *key performance indicators* dari citra *phantom* QA, termasuk parameter yang berkaitan dengan *CT number*, noise, dan artefak. Oleh karena itu, hasil penelitian ini mendukung pentingnya pemeriksaan rutin menggunakan *water phantom* sebagai bagian dari program *quality control* MSCT di Unit Radiologi Salah satu RS di Denpasar.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, nilai *CT number* pada *water phantom* pesawat MSCT Scan di Salah satu RS di Denpasar memenuhi syarat sesuai dengan PERKA BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022. Hasil penilaian artefak menunjukkan tidak ditemukan artefak pada citra *phantom*. Berdasarkan perbandingan dengan batas toleransi uji kesesuaian CT, pesawat MSCT Scan dikategorikan sesuai. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran *CT number water phantom* dan penilaian artefak dapat digunakan sebagai metode sederhana, objektif, dan aplikatif dalam pemantauan *quality control* pesawat MSCT Scan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa *CT number*, *uniformity*, noise, dan artefak merupakan indikator penting dalam evaluasi kualitas citra CT berbasis *phantom*.

Ucapan Terima Kasih

Penulis panjatkan puji syukur kepada Tuhan Yesus atas berkat dan penyertaan-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen

pembimbing atas arahan selama penelitian, serta kepada Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali dan RSUD tempat penulis melakukan penelitian khususnya unit Radiologi yang telah membantu kelancaran pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga dan teman-teman atas dukungan selama proses penyusunan penelitian.

Referensi

- Al-Hayek, Y., Spuur, K., Zheng, X., Hayre, C., & Davidson, R. (2022). The reliability of CT numbers as absolute values for diagnostic scanning, dental imaging, and radiation therapy simulation: A narrative review. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 53(1), 138–146. [doi:10.1016/j.jmir.2021.11.007](https://doi.org/10.1016/j.jmir.2021.11.007).
- Anam, C., Amilia, R., Naufal, A., Sutanto, H., Dwihapsari, Y., Fujibuchi, T., & Dougherty, G. (2023). Impact of noise level on the accuracy of automated measurement of CT number linearity on ACR CT and computational phantoms. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 13(4), 353–362. [doi:10.31661/jbpe.v0i0.2302-1599](https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2302-1599).
- Anam, C., Amilia, R., Naufal, A., & Ali, M. H. (2024). Automatic measurement of CT number in the ACR CT phantom and its implementation to investigate the impact of tube voltage on the measured CT number. *Radiation Physics and Chemistry*, 216, 111434. [doi:10.1016/j.radphyschem.2023.111434](https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111434).
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2022). Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- Booij, R., Budde, R. P. J., Dijkshoorn, M. L., & van Straten, M. (2020). Technological developments of X-ray computed tomography over half a century: User's influence on protocol optimization. *European Journal of Radiology*, 131, 109261. [doi:10.1016/j.ejrad.2020.109261](https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.109261).
- Greene-Donnelly, K. A., & Ogden, K. M. (2016). Evaluation of commercial extension plates for the ACR CT accreditation phantom. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 17(1), 416–420. [doi:10.1120/jacmp.v17i1.5785](https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i1.5785).
- Gulliksrud, K., Stokke, C., & Trægde Martinsen, A. C. (2014). How to measure CT image quality: Variations in CT-numbers, uniformity and low contrast resolution for a CT quality assurance phantom. *Physica Medica*, 30(4), 521–526. [doi:10.1016/j.ejimp.2014.01.006](https://doi.org/10.1016/j.ejimp.2014.01.006).
- Irsal, M., Nurbaiti, Mukhtar, A. N., Jauhari, A., & Winarno, G. (2020). Variation kVp and mAs on CT scan image quality using standard phantom. *AIP Conference Proceedings*, 2296, 020039. [doi:10.1063/5.0030320](https://doi.org/10.1063/5.0030320).
- Karius, A., & Bert, C. (2022). QAMaster: A new software framework for phantom-based computed tomography quality assurance. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 23(4), e13588. [doi:10.1002/acm2.13588](https://doi.org/10.1002/acm2.13588).
- Manson, E. N., Fletcher, J. J., Atuwo-Ampoh, V. D., Addison, E. K. T., Schandorf, C., & Bambara, L. (2016). Assessment of some image quality tests on a 128 slice computed tomography scanner using a Catphan700 phantom. *Journal of Medical Physics*, 41(2), 153–156. [doi:10.4103/0971-6203.181637](https://doi.org/10.4103/0971-6203.181637).
- Mansour, Z., Mokhtar, A., Sarhan, A., Ahmed, M. T., & El-Diasty, T. (2016). Quality control of CT image using American College of Radiology (ACR) phantom. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 47(4), 1665–1671. [doi:10.1016/j.ejrnm.2016.08.016](https://doi.org/10.1016/j.ejrnm.2016.08.016).
- Nansih, L. A. (2023). Uji Kesesuaian CT number in Water Pada Pesawat CT Scan Merk Philip Di Unit Radiologi RSUD. BMC Padang. *Jurnal Teras Kesehatan*, 6(1), 16–21. [doi:10.38215/jtkes.v6i1.105](https://doi.org/10.38215/jtkes.v6i1.105).
- Nowik, P., Bujila, R., Poludniowski, G., & Fransson, A. (2015). Quality control of CT systems by automated monitoring of key performance indicators: A two-year study. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 16(4), 254–265. [doi:10.1120/jacmp.v16i4.5469](https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i4.5469).
- Prasetya, I. M. L., & Arthana, I. P. J. (2022). Jaminan mutu pesawat CT Scan single slice di Unit Radiologi RSUD Semara Ratih. *Jurnal Medika Malahayati*, 6(3), 396–402. [doi:10.33024/jmm.v6i3.8666](https://doi.org/10.33024/jmm.v6i3.8666).
- Putra, G. P., Prasetya, I. M. L., & Wijaya, N. M. (2025). Uji kesesuaian pesawat CT Scan Multislice GE Healthcare di Unit Radiologi Rumah Sakit Umum Kertha Usada. *Jambura Journal of Health*

- Science and Research, 7(1), 208–218. [doi:10.35971/jjhsr.v7i1.27479](https://doi.org/10.35971/jjhsr.v7i1.27479).
- Santi, D. A. N. O. (2022). Uji Kesesuaian Pesawat Multislice Computer Tomography (MSCT) Di Rumah Sakit Umum Daerah Sanjiwani Gianyar [Skripsi]. Gianyar: Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali.
- Selim, M., Rashed, E. A., Atiea, M. A., & Kudo, H. (2022). Sparsity-based method for ring artifact elimination in computed tomography. PLOS ONE, 17(6), e0268410. [doi:10.1371/journal.pone.0268410](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268410).
- Sidi, M., Hussain, U. Y., Ya'u, A., & Garba, I. (2020). Evaluation of the computed tomography number for water, field uniformity, image noise and contrast resolutions in Kano Metropolis, Nigeria. Nigerian Journal of Basic and Clinical Sciences, 17(1), 21–25. [doi:10.4103/njbcs.njbcs_10_20](https://doi.org/10.4103/njbcs.njbcs_10_20).
- Tude, R. R. I., Diartama, A., & Darmita, M. P. (2024). Uji Kesesuaian CT number Pada Pesawat CT Scan Multislice Di Rumah Sakit Sunset Vet Kuta. Antigen: Jurnal Kesehatan Masyarakat dan Ilmu Gizi, 2(1), 106–113. [doi:10.57213/antigen.v2i1.205](https://doi.org/10.57213/antigen.v2i1.205).
- Wedekind, M., Castillo, S., & Magnor, M. (2022). Feature-sensitive ring artifact correction for computed tomography. Journal of Nondestructive Evaluation, 42, 5. [doi:10.1007/s10921-022-00914-w](https://doi.org/10.1007/s10921-022-00914-w).
- Withers, P. J., Bouman, C., Carmignato, S., Cnudde, V., Grimaldi, D., Hagen, C. K., Maire, E., Manley, M., Du Plessis, A., & Stock, S. R. (2021). X-ray computed tomography. Nature Reviews Methods Primers, 1, 18. [doi:10.1038/s43586-021-00015-4](https://doi.org/10.1038/s43586-021-00015-4).