

Uji Kualitas Citra Pesawat CT-Scan Menggunakan Phantom ACR (American College of Radiology) di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas

Machmudah, Afdhal Muttaqin*, Amel Oktavia

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 12 November 2024
Direvisi: 12 Desember 2024
Diterima: 6 Januari 2025

Kata kunci:

Akurasi CT Number
CNR (Contrast-to-Noise Ratio)
CT-Scan
Phantom ACR
Resolusi Spasial

Keywords:

CT Number Accuracy
CNR (Contrast-to-Noise Ratio)
CT-Scan
ACR Phantom
Spatial Resolution

Penulis Korespondensi:

Afdhal Muttaqin
Email:
afdhalmuttaqin@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas citra yang optimal dengan cara memastikan bahwa hasil pengukuran *CT Number* tidak melebihi batas yang ditetapkan dengan menggunakan Phantom ACR di Instalasi Radiologi RS Universitas Andalas dengan pesawat CT-Scan 64 Slice merek Philips, karena pengujian kualitas citra CT-Scan merupakan langkah penting untuk memastikan kinerja optimal alat diagnostik radiologi dan menjamin akurasi hasil pemeriksaan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan evaluasi yang terdiri dari empat modul: Modul 1 (akurasi *CT Number*) menunjukkan bahwa nilai untuk material Polyethylene, Air, Acrylic, dan Water berada dalam batas toleransi BAPETEN No. 2 Tahun 2022 sebesar ± 5 HU, sedangkan material Tulang tidak memenuhi kriteria, yang menandakan perlunya kalibrasi tambahan untuk material densitas tinggi. Modul 2 (resolusi kontras rendah), nilai CNR (*Contrast to Noise Ratio*) sebesar 2,91 menunjukkan kontras jelas antara struktur dengan *noise* rendah, memenuhi standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Modul 3 (keseragaman *CT Number*), pengujian keseragaman menghasilkan nilai standar deviasi di bawah batas ≤ 2 HU, menunjukkan keseragaman yang baik di pusat dan tepi citra, sehingga dapat diandalkan untuk aplikasi klinis. Modul 4 (resolusi spasial dengan kontras tinggi), sistem CT-Scan menunjukkan resolusi 6 lp/cm, sesuai dengan batas minimal yang ditetapkan oleh BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem CT-Scan dapat menghasilkan citra yang memenuhi standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022 untuk kualitas citra yang baik dan dapat diterapkan dalam praktik klinis, namun untuk material Tulang tidak memenuhi kriteria dengan nilai rata-rata $838,1 \pm 17,4$ HU.

This research aims to obtain optimal image quality by ensuring that the CT Number measurement results do not exceed the limits set using Phantom ACR in the Radiology Installation of Andalas University Hospital with a Philips brand CT-Scan 64 Slice machine, because CT-Scan image quality testing is an important step to ensure optimal performance of radiology diagnostic tools and guarantee the accuracy of examination results. This research uses an experimental method with an evaluation consisting of four modules: Module 1 (CT Number accuracy) shows that the values for Polyethylene, Air, Acrylic and Water materials are within the tolerance limits of BAPETEN No. 2 of 2022 is ± 5 HU, while the bone material does not meet the criteria, which indicates the need for additional calibration for high density materials. Module 2 (low contrast resolution), CNR (Contrast to Noise Ratio) value of 2.91 shows clear contrast between structures with low noise, meets BAPETEN standard No. 2 of 2022. Module 3 (CT Number uniformity), uniformity testing produces standard deviation values below the limit ≤ 2 HU, indicating good uniformity in the center and edges of the image, making it reliable for clinical applications. Module 4 (spatial resolution with high contrast), the CT-Scan system shows a resolution of 6 lp/cm, in accordance with the minimum limit set by BAPETEN No. 2 of 2022. Overall, this research shows that the CT-Scan system can produce images that meet BAPETEN standards No. 2 of 2022 for good image quality and can be applied in clinical practice, but for bone material it does not meet the criteria with an average value of 838.1 ± 17.4 HU.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

CT-Scan adalah suatu metode pencitraan diagnostik yang memanfaatkan kombinasi sinar-X dan komputer untuk menghasilkan gambar potongan tubuh manusia. Kualitas citra CT-Scan sangat menentukan dalam diagnosis medis yang akurat. Kualitas citra dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti resolusi spasial, resolusi kontras, artefak, dan tingkat kebisingan (Nansih, 2023). Resolusi spasial yang tinggi menghasilkan citra tajam, sedangkan resolusi kontras membedakan kepadatan jaringan. Oleh karena itu, (QC) *Quality control* diperlukan untuk memastikan kualitas citra dalam batas yang diizinkan. Di Rumah Sakit Universitas Andalas, QC untuk CT-Scan biasanya dilakukan minimal satu kali per tahun. Selain QC tahunan, terdapat juga QC bulanan dan QC mingguan yang dilakukan secara rutin. QC bulanan dan mingguan bertujuan untuk memantau kinerja peralatan secara berkala, sementara QC tahunan dilakukan lebih mendalam untuk memastikan keseluruhan fungsi alat tetap optimal (Syamsidar, 2017). Rutin melakukan QC ini bertujuan untuk memastikan kualitas citra dan keamanan radiasi tetap sesuai dengan standar yang berlaku, sehingga pelayanan dapat diberikan secara maksimal dan aman. QC meliputi uji penerimaan, pemantauan kinerja rutin, dan perbaikan. Salah satu aspek QC adalah uji ketepatan *CT Number* dan uniformitas pada berbagai posisi *Phantom*, di mana *CT Number* diukur dalam *Hounsfield Unit* (HU) (Sukatin et al., 2022).

Phantom ACR adalah suatu benda padat yang terdiri dari empat modul, terbuat dari materi yang setara dengan air. Masing-masing modul memiliki diameter 4 cm dan diameter keseluruhan *Phantom* mencapai 20 cm (Dillon et al., 2017). Modul 1 digunakan untuk penentuan posisi dan keselarasan menggunakan *Ball Bearings* (BB) baja berdiameter 1 mm yang ditanam di tengah (sumbu z) dan terlihat pada posisi jam 12, 3, 6, dan 9 dalam bidang pandang dengan jarak pusat ke pusat 19,9 cm. Sedangkan, untuk menilai akurasi *CT Number* terdapat silinder yang terbuat dari berbagai material yang berbeda yaitu material *polyethylene*, material yang meniru *Bone* (tulang), *air* (udara), *acrylic*, dan material yang setara dengan *water* (air). Modul 2 terdapat empat silinder dengan diameter masing-masing 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, dan 6 mm, dengan jarak antar silinder yang sama dengan diameternya. Silinder berdiameter 25 mm digunakan untuk memverifikasi tingkat kontras dengan latar belakang serta menilai rasio kontras terhadap *noise*. CNR (*Contrast-to-Noise Ratio*) adalah ukuran yang digunakan untuk menilai perbedaan kontras dalam gambar medis dan seberapa jelas perbedaannya dibandingkan tingkat *noise* (Trian Setiawan & Suryono, 2014). Modul 3 terdiri dari bahan seragam yang setara dengan jaringan untuk menilai keseragaman *CT Number*. Modul 4 digunakan untuk mengukur resolusi spasial dengan menilai pola resolusi batang. Terdapat delapan pola resolusi batang yang berkisar dari 4 hingga 12 lp/cm, masing-masing pada area persegi 15 mm x 15 mm (Dillon et al., 2017).

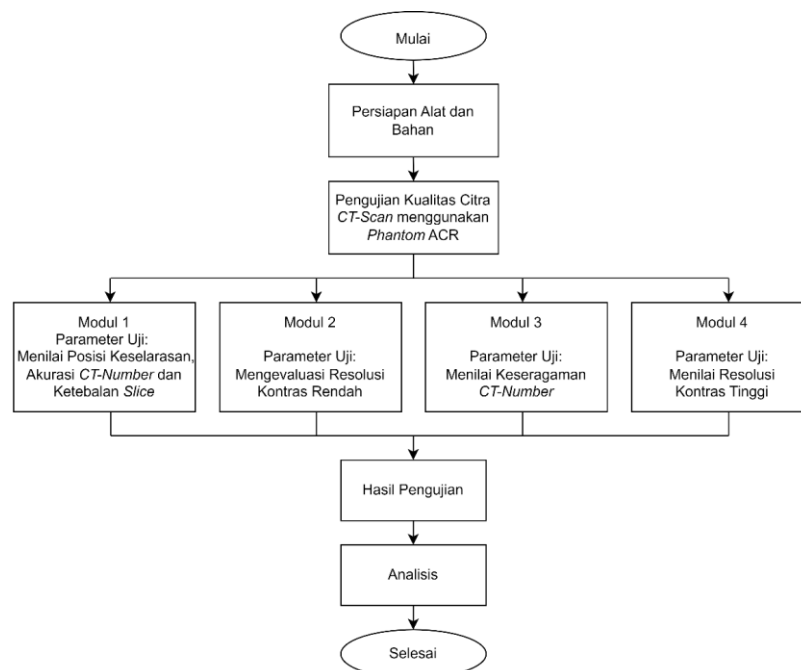
Penelitian pada CT-Scan multislice merk Siemens di RSUD Mangusada Bandung menunjukkan bahwa akurasi nilai *CT Number* dari 10 sampel tetap dalam batas toleransi PERKA BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011, dengan nilai *CT Number* rata-rata sekitar -0,9 hingga -1,2 HU (BAPETEN, 2022); (Zakirin et al., 2019). Pada penelitian lain di CT-Scan merk Philips di RSUD BMC Padang menggunakan tegangan tabung 80 kVp dan ketebalan slice 5 mm, nilai *CT Number* di pusat citra konsisten sekitar 4,83 hingga 5,16 HU, namun keseragaman ROI dan tingkat *noise* melebihi batas toleransi yang ditetapkan (Nansih, 2023). Selanjutnya, penelitian menggunakan *Phantom ACR 464* untuk menilai linearitas *CT Number* terhadap kerapatan elektron pada CT-Scan 16 slice menunjukkan koefisien korelasi sebesar 0,9997 untuk ketebalan slice 1,0 mm, 0,9996 untuk 2,0 mm, dan 0,9995 untuk 4,0 mm, sesuai dengan standar linearitas $R^2 \geq 0,99$ menurut PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2018 (Gammex, 2020).

Phantom ACR dirancang khusus untuk standar pengujian yang lebih konsisten dan terverifikasi dalam pengujian kualitas citra, mencakup berbagai pengujian seperti akurasi *CT Number*, keseragaman, resolusi kontras rendah, dan resolusi spasial. *Phantom ACR* mampu memberikan data yang lebih akurat dan andal dibandingkan *Phantom* bawaan, maka dilakukan penelitian dengan menggunakan *Phantom ACR* untuk pengujian *CT Number* pada pesawat CT-Scan merk Philips yang sudah ada sejak tahun 2016 di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas (Yanagawa et al., 2020). Untuk menentukan *CT Number* biasanya menggunakan *water Phantom* yang merupakan *Phantom* bawaan dari CT-Scan. Pada saat melakukan QC diperoleh nilai *CT Number* yang melebihi dari +4 HU. Hal ini disebabkan karena *error* pada program *IQ check* pada CT-Scan. Oleh karena itu, digunakan *Phantom ACR* (*American Collage of Radiology*) sebagai alternatif lain pengganti *Phantom* bawaan (Sukatin et al., 2022). Prosedur untuk menentukan nilai *CT Number* dan kualitas citra pada CT-Scan menggunakan *Phantom ACR*, dengan memakai protokol CT-Scan kepala. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan

kualitas citra yang optimal dengan cara memastikan bahwa hasil pengukuran *CT Number* tidak melebihi batas yang ditetapkan, serta untuk memberikan rekomendasi perbaikan jika terdapat penyimpangan yang signifikan. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat meningkatkan mutu pelayanan radiologi di Rumah Sakit Universitas Andalas dan memberikan kontribusi dalam praktik pengujian kualitas *CT-Scan*.

II. METODE

Prosedur penelitian ini melakukan pengujian langsung dengan menggunakan objek *Phantom ACR* sebagai berikut: Diagram alir penelitian untuk pengambilan data *CT Number* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir pengujian kualitas citra *CT-Scan* menggunakan *Phantom ACR*

Dimulai dengan memastikan bahwa *phantom ACR* sudah siap dan ditempatkan dengan benar di meja *CT-Scan*. Parameter pemindaian, seperti tegangan tabung 120 kV, 300 mAs, dan ketebalan slice 8 mm, harus diatur sesuai dengan protokol yang akan diuji. Protokol pemindaian, seperti *head protocol*, harus digunakan secara konsisten untuk menjaga keseragaman hasil (Boutin et al., 2021).

Pada modul 1 (Akurasi *CT Number*), tujuan pengujian adalah untuk mengukur akurasi nilai CT (HU) dari berbagai material dalam *phantom*, termasuk *polyethylene*, *bone*, *air*, *acrylic*, dan *water* (ACR Accreditation Program 2013, n.d.). *Phantom ACR* ditempatkan pada meja *CT-Scan*, dan pemindaian dilakukan menggunakan parameter yang telah diatur. Setelah citra dihasilkan, nilai CT (HU) pada setiap material diukur dan dibandingkan dengan nilai standar. Penyimpangan dari nilai standar dicatat, dan akurasi HU dievaluasi apakah masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh standar ACR atau regulasi lainnya. Pada modul 2 (Resolusi Kontras Rendah), pengujian bertujuan mengukur kemampuan pesawat CT dalam mendeteksi objek kecil dengan perbedaan kontras rendah terhadap latar belakang. *Phantom ACR* ditempatkan di posisi yang tepat, dan pemindaian dilakukan dengan parameter yang sama. Setelah citra dihasilkan, analisis dilakukan untuk melihat kemampuan mesin dalam mendeteksi objek dengan kontras rendah. Hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan spesifikasi yang diberikan oleh *phantom*, dan evaluasi dilakukan untuk memastikan apakah mesin memenuhi standar resolusi kontras rendah (Alikhani et al., 2021).

Pada modul 3 (Keseragaman *CT Number*), pengujian dilakukan untuk melihat keseragaman nilai CT di seluruh citra, terutama pada area yang homogen seperti air. Pemindaian dilakukan, dan beberapa ROI (*Region of Interest*) dipilih di area pusat dan tepi citra untuk mengukur nilai HU. Nilai-

nilai tersebut dibandingkan untuk melihat apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara daerah pusat dan tepi (Irsal & Winarno, 2020). Jika variasi yang ditemukan terlalu besar, hasil dicatat dan dibandingkan dengan batas toleransi yang ditetapkan untuk keseragaman. Pada modul 4 (Resolusi Spasial dengan Kontras Tinggi), pengujian dilakukan untuk mengukur kemampuan resolusi spasial pesawat CT menggunakan pola garis dengan kontras tinggi. *Phantom* ACR ditempatkan dan pemindaian dilakukan. Hasil citra kemudian dianalisis untuk melihat pola garis yang bisa terlihat dengan jelas. Hasil ini dibandingkan dengan standar resolusi spasial yang ditetapkan oleh *phantom* ACR. Garis terkecil yang masih bisa diidentifikasi dicatat dan dibandingkan dengan spesifikasi yang diberikan untuk menilai apakah pesawat CT memenuhi standar resolusi spasial yang baik (Sunoto et al., 2022).

Setelah seluruh pengujian selesai, pengolahan data dilakukan menggunakan *software* pengolahan citra. Hasil dari setiap modul dianalisis, termasuk nilai HU untuk berbagai material pada modul 1, kemampuan deteksi kontras rendah pada modul 2, rata-rata dan standar deviasi nilai HU untuk mengukur keseragaman pada modul 3, serta resolusi spasial pada modul 4. Semua hasil kemudian dibandingkan dengan standar atau regulasi yang berlaku, seperti PERKA BAPETEN No. 2 tahun 2022, untuk memastikan apakah pesawat *CT Scan* memenuhi persyaratan kualitas citra klinis.

III. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian kualitas citra *CT-Scan* menggunakan *Phantom* ACR dilakukan dengan parameter 120 kV, 300 mAs, dan ketebalan *slice* 8 mm sesuai PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *Phantom* ACR efektif dalam mengidentifikasi deviasi kualitas citra pada berbagai parameter *CT-Scan* (yusanti weirna et al., 2014). Hasil uji beberapa parameter dari modul 1 hingga modul 4 diperoleh sebagai berikut:

3.1 Pengujian Modul 1

Pengujian Modul 1 bertujuan untuk mengevaluasi berbagai aspek penting dalam kualitas citra *CT-Scan*, yaitu posisi dan keselarasan objek pada gambar, tingkat akurasi *CT-Number* sebagai parameter utama dalam diagnosis, serta ketebalan *slice* yang berperan dalam menentukan detail dan resolusi gambar yang dihasilkan, dapat dilihat data hasil pengujian modul 1 pada Tabel 1:

Tabel 1 Data hasil pengujian modul 1

No	Material	Luas Lingkaran ROI (mm ²)	Nilai Rata-rata <i>CT Number</i> (HU)	Standar Deviasi (SD)	Kesimpulan
1	<i>Polyethylene</i>	400,4	-82,6	2,2	Sesuai
2	<i>Bone</i>		838,1	17,4	Tidak Sesuai
3	<i>Air</i>		-982,6	13,9	Sesuai
4	<i>Acrylic</i>		129,6	2,3	Sesuai
5	<i>Water</i>		7,9	2,1	Sesuai

Pengujian kualitas citra *CT-Scan* menggunakan *Phantom* ACR menunjukkan variasi hasil pada lima jenis material. *Polyethylene* ($-82,6 \pm 2,2$ HU), *Air* ($-982,6 \pm 13,9$ HU), *Acrylic* ($129,6 \pm 2,3$ HU), dan *Water* ($7,9 \pm 2,1$ HU) memenuhi kriteria akurasi dan batas toleransi BAPETEN No. 2 Tahun 2022, sehingga dinilai baik. Sebaliknya, *Bone* dengan nilai rata-rata $838,1 \pm 17,4$ HU tidak sesuai dengan kriteria akurasi dan berada di luar batas toleransi, sehingga dinilai tidak baik.

3.2 Pengujian Modul 2

Pengujian Modul 2 difokuskan pada penilaian resolusi kontras rendah, yang merupakan kemampuan sistem *CT-Scan* untuk membedakan objek dengan perbedaan densitas yang kecil. Aspek ini sangat penting dalam memastikan bahwa alat dapat menghasilkan gambar yang cukup jelas untuk mendeteksi struktur atau kelainan dengan kontras rendah, seperti jaringan lunak atau lesi kecil, sehingga mendukung akurasi diagnosis medis, dapat dilihat data hasil pengujian modul 2 pada Tabel 2:

Tabel 2 Data hasil pengujian modul 2

No	Posisi ROI	Luas Lingkaran ROI (mm ²)	Nilai Rata-Rata <i>CT Number</i> (HU)	Standar Deviasi (SD)	CNR	Nilai Lolos Uji	Kesimpulan
1	Dalam	100,0	106,8	1,9	2,91	>1	Sesuai
2	Luar		100,4	2,2			

Berdasarkan Tabel 2, luas lingkaran ROI setiap silinder adalah 100,0 mm². ROI bagian dalam memiliki nilai rata-rata 106,8 HU (SD 1,9), sedangkan ROI bagian luar memiliki nilai rata-rata 100,4 HU (SD 2,2). Nilai CNR sebesar 2,91 menunjukkan citra *CT-Scan* memiliki kontras yang baik dan memenuhi standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022 dengan nilai CNR > 1, menandakan kontras antar struktur cukup jelas dan *noise* rendah. Hasil ini menunjukkan bahwa kualitas citra *CT-Scan* yang diuji memadai untuk aplikasi klinis dan diagnostik.

3.3 Pengujian Modul 3

Pengujian Modul 3 berfokus pada penilaian keseragaman (*uniformity*), yaitu kemampuan sistem *CT-Scan* untuk menghasilkan nilai *CT-Number* yang konsisten di seluruh area citra yang diambil, sehingga mendukung keandalan hasil pencitraan dalam analisis klinis dan diagnosis yang akurat, dapat dilihat data hasil pengujian modul 3 pada Tabel 3:

Tabel 3 Data hasil pengujian modul 3 keseragaman pusat dan tepi

Posisi ROI	Luas Lingkaran ROI (mm ²)	Nilai Rata-Rata <i>CT Number</i> (HU)	Standar Deviasi (SD)	Standar Deviasi Dari Pusat ROI (HU)	Nilai Lolos Uji	Kesimpulan
Pusat	401,4	7,7	2,4	0	≤ 2	Sesuai
Arah jam 12		6,4	1,8	1,3		Sesuai
Arah jam 3		6,4	2,0	1,3		Sesuai
Arah jam 6		6,7	2,0	1,0		Sesuai
Arah jam 9		6,1	1,7	1,6		Sesuai

Berdasarkan Tabel 3, nilai luas lingkaran ROI adalah 401,4 mm². Hasil pengujian pada posisi ROI pusat menunjukkan nilai rata-rata 7,7 HU (SD 2,4), sementara pada posisi ROI arah jam 12, 3, 6, dan 9 berkisar antara 6,1 hingga 6,7 HU dengan standar deviasi 1,7 hingga 2,0. Standar deviasi dari pusat ROI berkisar antara 0 hingga 1,6 HU, dengan semua posisi ROI menunjukkan deviasi kurang dari 2 HU. Hasil ini menunjukkan keseragaman pusat dan tepi yang akurat, memenuhi standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022, sehingga citra *CT-Scan* dinilai dapat diandalkan untuk aplikasi klinis dan diagnostik.

Tabel 4 Data hasil pengujian modul 3 keseragaman nilai *noise*

Posisi ROI	Luas Lingkaran ROI (mm ²)	Nilai Rata-Rata <i>CT Number</i> (HU)	Standar Deviasi (SD)	Standar Deviasi Dari Pusat ROI (HU)	Nilai Lolos Uji	Kesimpulan
------------	---------------------------------------	---------------------------------------	----------------------	-------------------------------------	-----------------	------------

Arah jam 12		6,4	1,8			
Arah jam 3		6,4	2,0			
Arah jam 6	401,4	6,7	2,0	0,7	≤ 2	Sesuai
Arah jam 9		6,1	1,7			
Pusat		7,7	2,4			

Berdasarkan Tabel 4, standar deviasi dari pusat ROI sebesar 0,7 HU di semua posisi ROI, menunjukkan keseragaman *noise* yang baik. Semua nilai deviasi berada di bawah batas 2 HU sesuai dengan standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Ini menunjukkan bahwa citra *CT-Scan* memiliki keseragaman yang baik, sehingga dapat diandalkan untuk aplikasi klinis dan diagnostik.

3.4 Pengujian Modul 4

Pengujian Modul 4 difokuskan pada penilaian resolusi kontras tinggi (spasial), yaitu kemampuan sistem *CT-Scan* untuk membedakan detail kecil dengan perbedaan densitas yang signifikan dalam citra, dapat dilihat data hasil pengujian modul 4 pada Gambar 2.



Gambar 2 Data hasil pengujian modul 4

Gambar 2 merupakan pengujian kualitas citra pesawat *CT-Scan* menggunakan *Phantom ACR* pada modul 4 menilai resolusi kontras tinggi (spasial), dari Gambar 2, citra modul 4 berisi delapan pola resolusi dari 4 lp/cm hingga 12 lp/cm, dengan kotak-kotak persegi berisi garis-garis yang semakin rapat dan tipis di setiap kotak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa citra *CT-Scan* pada resolusi batang 6 lp/cm masih tampak samar, namun sesuai dengan standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022 yang menetapkan batas minimal resolusi kontras ≥ 6 lp/cm. Meskipun samar, citra tetap memenuhi standar resolusi, menandakan bahwa sistem *CT-Scan* lolos uji dan mampu menghasilkan detail yang memadai untuk aplikasi diagnostik medis.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kualitas citra pesawat *CT-Scan* menggunakan *Phantom ACR* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas dengan parameter 120 kV, 300 mAs, dan ketebalan *slice* 8 mm, dapat disimpulkan bahwa: 1) Modul 1 menunjukkan nilai *CT Number* untuk material *Polyethylene* ($-82,6 \pm 2,2$ HU), *Air* ($-982,6 \pm 13,9$ HU), *Acrylic* ($129,6 \pm 2,3$ HU), dan *Water* ($7,9 \pm 2,1$ HU) berada dalam batas toleransi BAPETEN No. 2 Tahun 2022, sedangkan *Bone* ($838,1 \pm 17,4$ HU) berada di luar batas karena densitasnya yang tinggi. 2) Modul 2 menunjukkan kualitas citra yang memadai dengan (*Contrast to Noise Ratio*) CNR sebesar 2,91, sesuai standar BAPETEN No. 2 Tahun 2022, yang mendukung efektivitasnya dalam aplikasi klinis. 3) Modul 3 menunjukkan bahwa citra memenuhi standar keseragaman pusat dan tepi serta keseragaman *noise* sesuai BAPETEN No. 2 Tahun 2022, menjadikannya dapat diandalkan untuk aplikasi klinis. 4) Modul 4 menunjukkan kemampuan sistem *CT-Scan* untuk menampilkan resolusi pada 6 lp/cm meskipun samar, memenuhi kriteria kualitas untuk aplikasi diagnostik medis.

DAFTAR PUSTAKA

- ACR Accreditation Program 2013. (n.d.). *CT ACR 464 Phantom ACR Accreditation Instructions*.
- Alikhani, B., Renne, J., Maschke, S., Hinrichs, J. B., Wacker, F. K., & Werncke, T. (2021). Impact of Patient Alignment on Image Quality in C-Arm Computed Tomography - Evaluation Using an ACR Phantom. *RoFo Fortschritte Auf Dem Gebiet Der Rontgenstrahlen Und Der Bildgebenden Verfahren*, 193(4), 417–426. <https://doi.org/10.1055/a-1238-2802>
- BAPETEN. (2022). Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi, Diagnostik dan Intervensional. *Nomor 2 Tentang Perubahan Atas Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi, Diagnostik Dan Intervensional*.
- Boutin, R. D., Hernandez, A. M., Lenchik, L., Seibert, J. A., Gress, D. A., & Boone, J. M. (2021). CT phantom evaluation of 67,392 American college of radiology accreditation examinations: Implications for opportunistic screening of osteoporosis using CT. *American Journal of Roentgenology*, 216(2), 447–452. <https://doi.org/10.2214/AJR.20.22943>
- Dillon, C., Breeden, W., Clements, J., Cody, D., Gress, D., Kanal, K., Kofler, J., McNitt-Gray, M. F., Norbeck, J., Pfeiffer, D., Ruckdeschel, T. G., Strauss, K. J., & Tomlinson, J. (2017). ACR 2017 : Computed Tomography - Quality Control manual. *ACR (American College of Radiology)*.
- Gammex. (2020). CT ACR 464 Phantom. *Sun Nuclear Corporation*, 1–2. <https://help.imageowl.com/hc/en-us/articles/17138157477523-CT-ACR-464-Phantom>
- Irsal, M., & Winarno, G. (2020). Pengaruh Parameter Milliampere-Second (mAs) terhadap Kualitas Citra Dan Dosis Radiasi Pada Pemeriksaan CT scan Kepala Pediatrik. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.20527/flux.v17i1.7085>
- Nansih, L. A. (2023). Uji Kesesuaian CT Number in Water Pada Pesawat Ct Scan Merk Philip Di Instalasi Radiologi Rsu. Bmc Padang. *Jurnal Teras Kesehatan*, 6(1), 16–21. <https://doi.org/10.38215/jtkes.v6i1.105>
- Sukatin, Nurkhalipah, Kurnia, A., Ramadani, D., & Fatimah. (2022). Pengaruh Variasi Rekonstruksi Slice Thickness dan Filter Kernel Terhadap Kualitas Citra CT-Scan Kepala pada Kasus Stroke Iskemik. *Jurnal Ilmiah Multi Disiplin Indonesia*, 1(9), 1278–1285.
- Sunoto, T. D., Saragih, R. A., Jarden, J. J., & Wijaya, K. (Oeij) O. K. R. (2022). Perbaikan Kualitas Citra Menggunakan Metode Fuzzy Type-2. *Jurnal Telematika*, 16(2), 46–54. <https://doi.org/10.61769/telematika.v16i2.420>
- Syamsidar. (2017). Analisis Akurasi Dan Keseragaman CT Number Dari Citra Ct-Scan Menggunakan Phantom Gammex”. *Departemen Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar*, 1–60.
- Trian Setiawan, H., & Suryono. (2014). Uji Resolusi Spasial Pada Perangkat Lunak Computed Radiography Menggunakan Pengolahan Citra Digital. *Youngster Physics Journal*, 3(4), 311–316.
- Yanagawa, M., Tsubamoto, M., Satoh, Y., Hata, A., Miyata, T., Yoshida, Y., Kikuchi, N., Kurakami, H., & Tomiyama, N. (2020). Lung adenocarcinoma at CT with 0.25-mm section thickness and a 2048 matrix: High-spatial-resolution imaging for predicting invasiveness. *Radiology*, 297(2), 462–471. <https://doi.org/10.1148/RADIOL.2020201911>
- yusanti weirna, Budi, W. S., & Adi, K. (2014). Penentuan Quality Control (Qc) Resolusi Spasial Pada Citra Ct Scan Dengan Metode Line Spread Function (Lsf) Dan Point Spread Function (Psf) Menggunakan Phantom Aapm Ct Performance. *Berkala Fisika*, 17(2), 39–44.
- Zakirin, M., Agung, A., Diartama, A., Iffah, M., Mughnie, B., Putu, N., & Jeniyanthi, R. (2019). *Akademi Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Bali*. 3(1).