

Kalibrasi CT Scan Merk Siemens Type Somatom go.Top di RSUD Banyumas

Agustinus Lise^{1*}, Diah Rahayu Ningtias², Imam Tri Harsoyo³

¹⁻³ Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: agustinuslise@stikessemarang.ac.id

Abstract. *CT Scan calibration is necessary to ensure the accuracy, consistency, and reliability of the medical imaging results used in the diagnosis process. This study aims to find out the calibration procedure and analyze the data of the calibration results of the Siemens SOMATOM go CT Scan. TOP at Banyumas Hospital. The test method refers to the Ministry of Health's CT Scan Testing Working Method No. MK: 056-18, which is the standard in evaluating the performance of CT Scan equipment. The parameters tested included the percentage of tube voltage error (kVp) and the quality of the X-ray beam represented by the Half Value Layer (HVL) value. The results of the measurement of the error percentage at various kVp points show a range of 0.37–0.88%, which is still within the tolerance limit set by the national standard. In addition, the results of the HVL test at voltages of 120 kVp and 140 kVp also showed values that were above the minimum required limit, so that the quality of the X-ray beam was considered to meet the requirements. Based on the overall test and analysis results, the Siemens SOMATOM CT Scan go. TOP is declared feasible, safe, and good to use because all performance parameters of the tool have met applicable standards.*

Keywords: Calibration; CT Scan; Imaging; Uncertainty; X-ray

Abstrak. Kalibrasi CT Scan diperlukan untuk memastikan akurasi, konsistensi, dan keandalan hasil pencitraan medis yang digunakan dalam proses diagnosis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prosedur kalibrasi serta menganalisis data hasil kalibrasi CT Scan Siemens SOMATOM go. TOP di RSUD Banyumas. Metode pengujian mengacu pada Metode Kerja Pengujian CT Scan Kemenkes No. MK: 056-18, yang menjadi standar dalam evaluasi kinerja peralatan CT Scan. Parameter yang diuji meliputi prosentasi kesalahan tegangan tabung (kVp) dan kualitas berkas sinar-X yang direpresentasikan oleh nilai Half Value Layer (HVL). Hasil pengukuran prosentasi error pada berbagai titik kVp menunjukkan rentang 0,37–0,88%, yang masih berada dalam batas toleransi yang telah ditetapkan oleh standar nasional. Selain itu, hasil pengujian HVL pada tegangan 120 kVp dan 140 kVp juga menunjukkan nilai yang berada di atas batas minimal yang dipersyaratkan, sehingga kualitas berkas sinar-X dinilai memenuhi ketentuan. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian dan analisis, CT Scan Siemens SOMATOM go. TOP dinyatakan layak, aman, dan baik pakai karena seluruh parameter performa alat telah memenuhi standar yang berlaku.

Kata kunci: CT Scan; Kalibrasi; Ketidakpastian; Pencitraan; Sinar-X ray

1. LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi di bidang kesehatan yang ada pada saat ini memberi kemudahan bagi para praktisi kesehatan untuk mendiagnosa penyakit serta menentukan jenis alat *CT Scan* (*Computerized Tomography Scanner*) untuk melakukan pencitraan dignosa penyakit pasien (Hariadi, 2016). *CT* (*Computed Tomography*) *Scan* adalah prosedur yang menggabungkan serangkaian gambar X-ray yang diambil dari berbagai sisi di sekitar tubuh seseorang. Pemeriksaan ini menggunakan computer untuk membuat gambar *cross-sectional* tulang, pembuluh darah dan jaringan lunak yang ada di dalam tubuh orang tersebut. Prosedur ini menunjukkan gambar yang lebih detail daripada X-ray (Fadli, 2019).

Alat CT Scan adalah generator pembangkit sinar-x dalam jumlah dan waktu tertentu. Sinar-x tersebut akan melewati jaringan tubuh yang diperiksa dan ditangkap oleh detector (Sari, 2022). Oleh karena adanya perbedaan masa organ tubuh yang dilewati maka gambaran yang ditangkap juga berbeda-beda densitasnya. Inilah yang akan direkonstruksi oleh sistem computer yang canggih sehingga menghasilkan suatu potongan gambar organ tubuh. Film yang menerima proyeksi sinar diganti dengan alat detector yang dapat mencatat semua sinar secara berdispensiasi. Pencatatan dilakukan dengan mengkombinsi tiga pesawat detector, dua diantaranya menerima sinar yang menembus tubuh dan yang satu berfungsi sebagai detector aferen yang mengukur intensitas sinar rontgen yang telah menembus tubuh dan penyinaran dilakukan menurut prteksi dari tiga titik, menurut posisi 360 derajat dan 60 derajat dengan memakai waktu 4,5 menit.

Penelitian tentang *CT Scan* telah berkembang pesat, yakni penelitian mulai dari aspek sumber radiasi sinar-x dan aspek kualitas citra yang dihasilkannya. Semua penelitian tentang aspek-aspek tersebut pada dasarnya ditunjukan untuk menghasilkan *CT Scan* dengan citra keluaran berkualitas baik, citra berkualitas baik yang dimaksud adalah citra yang sesuai dengan standar dan sudah lolos dalam uji kesesuaian oleh Bapetan. Kualitas citra yang telah diketahui dipengaruhi oleh beberapa factor, yakni: *spatial resolution*, *contras resolution*, keseragaman citra, *noise* dan artefak (Seeram, 2001). Dari beberapa factor kualitas citra tersebut, hanya *contras resolution* dan *noise* yang diduga berkait dengan *slice thickness* (Ardianto, 2013).



Gambar 1. CT-Scan.

Gambar diatas merupakan Gantry Pesawat CT-Scan ,sebelum kita melakukan perbaikan ada baik nya kita mengetahui spesifikasi dari alat tersebut, diantaranya :

Nama	: <i>CT-Scan</i>
Merk	: Siemens
Type/Model	: SOMATOM go. TOP
Power supply	: 380 – 480 V
Gantry Tilt	: 30°

Image Reconstructions : Lerdex Xeon 3,6 – 4,0 Ghz

X-Ray Generator : 75 kW, equivalent 187 kW with SAFIRE

Fungsi CT-Scan

CT-Scan (Computed Tomography Scan) berfungsi untuk menghasilkan gambaran penampang tubuh secara detail melalui kombinasi sinar-X dan sistem komputer. Teknologi ini memungkinkan visualisasi struktur internal seperti organ, tulang, pembuluh darah, dan jaringan lunak dengan resolusi tinggi sehingga mempermudah identifikasi kelainan yang sulit terlihat dengan radiografi konvensional. CT-Scan sering digunakan dalam diagnosis awal berbagai kondisi medis seperti tumor, perdarahan internal, kelainan tulang, infeksi, stroke, serta cedera akibat trauma. Dengan kemampuan menghasilkan gambar tiga dimensi, alat ini juga membantu dokter melihat lokasi dan ukuran kelainan secara lebih akurat. (Smith & Kline, 2020; Bushberg et al., 2011)

Selain untuk diagnosis, CT-Scan juga memiliki fungsi penting dalam perencanaan tindakan medis, termasuk pembedahan, radioterapi, dan prosedur intervensi minimal invasif. CT-Scan digunakan untuk memantau perkembangan penyakit, mengevaluasi respon terhadap terapi, serta memandu dokter saat melakukan biopsi atau pemasangan kateter. Ketepatan gambar yang dihasilkan mempercepat proses klinis dan meningkatkan keamanan tindakan medis. Dengan kecepatan pemindaian yang tinggi, alat ini sangat bermanfaat dalam kondisi gawat darurat, misalnya untuk menilai cedera otak atau organ dalam secara cepat. (Hendee & Ritenour, 2016; Mahesh, 2019).

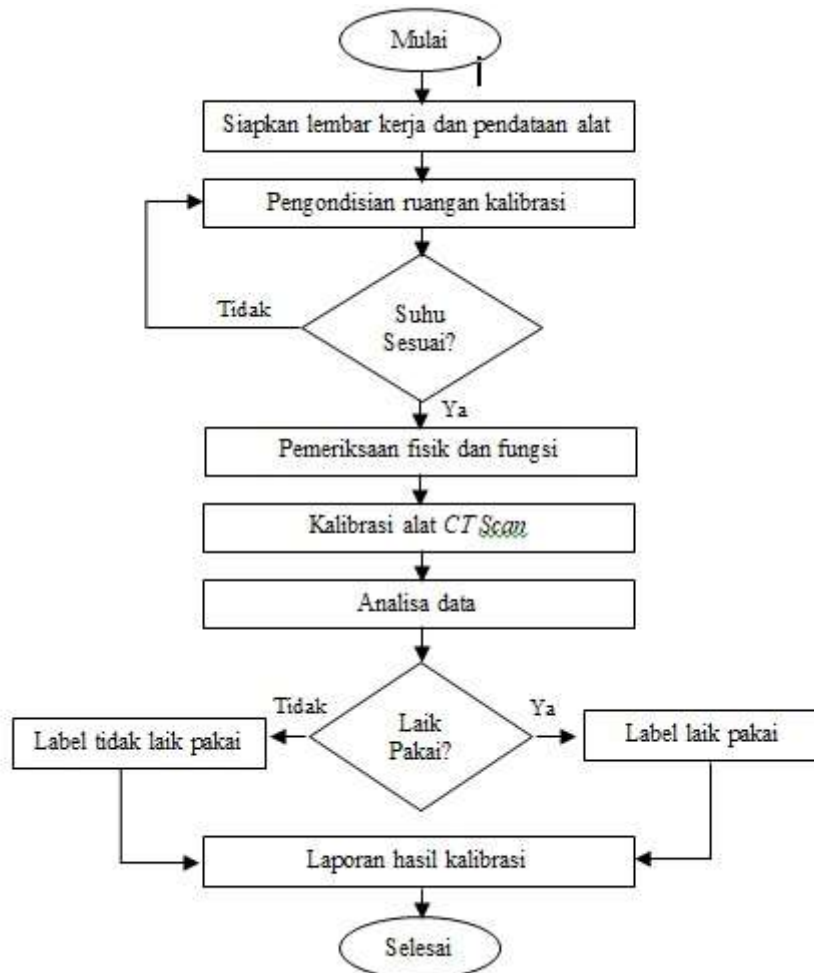
Metode Kalibrasi

Pada tahap kalibrasi dilakukan dimulai dengan menyiapkan lembar kerja dan pendataan alat sesuai dengan apa yang dilakukan saat proses kalibrasi sedang berlangsung. Lalu melakukan pengkondisian ruangan kalibrasi. Jika suhu ruangan kalibrasi telah sesuai maka, proses selanjutnya adalah lakukan pemeriksaan fisik dan fungsi alat. Setelah mengetahui alat *CT Scan* baik maka selanjutnya masuk ke tahap kalibrasi *CT Scan* sesuai dengan metode kerja kalibrasi. Jika proses kalibrasi telah selesai dilakukan maka penulis melakukan analisa data kalibrasi. Jika alat yang dikalibrasi yaitu *CT Scan* laik pakai maka ditempel label hijau, begitupun sebaliknya jika alat yang dikalibrasi yaitu *CT Scan* tidak laik pakai maka ditempel label merah. Setelah semua proses kalibrasi telah dilakukan maka proses penyusunan Karya Tulis Ilmiah dapat dilakukan.

Metode kalibrasi yang digunakan dalam penelitian adalah metode yang mengacu pada Permenkes RI No. 54 Tahun 2015 tentang Metode Kerja Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. Kalibrasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui apakah alat yang penulis

gunakan sebagai objek penelitian laik atau tidak laik untuk digunakan. Kalibrasi pada alat yang akan penulis bahas dilakukan oleh PT. ALDANA TEKNIK INDONESIA. Metode ini berisi tentang kegiatan para kalibrasi, kalibrasi dan perhitungan ketidakpastian.

Flowchart Perbaikan



Gambar 2. Flowchart Alat CT-Scan.

Proses penelitian dimulai dari perumusan masalah dengan mengumpulkan permasalahan yang melatar belakangi pengambilan tema tersebut, serta menentukan tujuan penelitian untuk mencapai tujuan yang dimaksud oleh penulis. Langkah selanjutnya adalah studi literatur dengan mengumpulkan data mengenai penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Apabila proses perizinan dari Rumah Sakit dan PT. ALDANA TEKNIK INDONESIA telah sesuai dengan prosedur dan telah disetujui, maka penulis melakukan proses penelitian yaitu kalibrasi CT Scan. Setelah pelaksanaan kalibrasi maka dilakukan analisa data berupa analisa ketidakpastian nilai kalibrasi. Setelah proses penelitian selesai kemudian akan dilakukan pembuatan Karya Tulis Ilmiah.

2. KAJIAN PUSTAKA

CT- overlook dan Prinsip Kerja

CT- overlook merupakan teknologi pencitraan medis yang menggunakan sinar- X untuk menghasilkan gambar penampang tubuh secara detail. Kombinasi antara sinar- X, detektor, dan sistem komputer mampu menghasilkan citra dengan resolusi tinggi untuk evaluasi organ, jaringan lunak, tulang, dan pembuluh darah(Bushberg et al., 2011; Mahesh, 2019). CT- overlook ultramodern memiliki kemampuan rekonstruksi gambar yang cepat, presisi tinggi, serta mendukung berbagai aplikasi klinis seperti identifikasi excrescence, trauma, stroke, dan pemetaan anatomi sebelum tindakan medis.

Kalibrasi CT- overlook

Kalibrasi merupakan proses penting untuk memastikan akurasi kinerja peralatan medis, termasuk CT overlook. Tujuan kalibrasi adalah menjamin keluaran sinar- X sesuai standar, mengurangi deviasi tegangan tabung, dan memastikan kualitas berkas sinar berada dalam batas toleransi keselamatan radiasi(IAEA; Permenkes No. 54/2015). Parameter yang umum diuji meliputi

Tegangan tabung(kVp) untuk menilai akurasi keluaran sinar- X.

Half Value Subcaste(HVL) untuk menilai kualitas dan tingkat filtrasi sinar- X.

Noise, uniformity, discrepancy resolution, dan spatial resolution yang terkait kualitas citra(Seeram, 2001 Ardianto, 2013).

Kalibrasi CT- overlook wajib dilakukan secara berkala dan menjadi syarat utama dalam uji kesesuaian peralatan radiologi berdasarkan standar Kemenkes RI No. MK056-18/2024.

Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Citra CT- overlook

Kualitas citra dipengaruhi oleh beberapa komponen

Tegangan tabung(kVp) mempengaruhi penetrasi sinar- X.

Arus tabung(mama) dan waktu eksposi(s) memengaruhi jumlah foton yang mencapai detektor.

Slice consistence, noise, artefak, dan kontras citra berpengaruh pada detail visual(Ayu, 2018; Nariswari, 2018).

Pemahaman faktor ini penting untuk menjamin hasil kalibrasi relevan dengan kualitas citra final.

Standar Kalibrasi di Indonesia

Kemenkes No. 54/2015 dan Metode Kerja Pengujian CT- overlook No. MK056-18/2024 menjadi dasar hukum prosedur kalibrasi di Indonesia. Dalam standar tersebut,

peralatan CT overlook dinyatakan “ laik pakai ” apabila seluruh parameter memenuhi batas toleransi, di antaranya

Error tegangan tabung $\leq \pm 6$

HVL memenuhi batas minimum sesuai kVp yang digunakan

Standar ini penting untuk memastikan keselamatan pasien dan keakuratan opinion.

3. METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menganalisis hasil kalibrasi CT overlook Siemens SOMATOM go. TOP di RSUD Banyumas. Data yang dianalisis merupakan hasil pengukuran langsung berdasarkan Metode Kerja Pengujian CT- overlook Kemenkes No. MK056- 18/2024.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di ruang instalasi radiologi RSUD Banyumas dan laboratorium kalibrasi PT. Aldana Teknik Indonesia pada tahun 2024.

Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan meliputi

Multimeter X-Ray Piranha Multi(657) untuk mengukur tegangan tabung dan HVL.

Thermohygrometer untuk mengukur suhu dan kelembaban ruang kalibrasi.

CT- overlook Siemens SOMATOM go. TOP sebagai objek pengujian.

Prosedur Kalibrasi

Tahapan kalibrasi dilakukan sebagai berikut

Persiapan

- 1) Menyiapkan formulir kerja, verifikasi identitas alat, dan memastikan kondisi lingkungan sesuai standar(suhu dan kelembaban).

Pemeriksaan Fisik dan Fungsi

- 1) Mengecek kondisi umum gantry, meja pasien, detektor, serta sistem komputer.

Pemanasan Tabung

- 1) Melakukan prosedur warm-up tabung untuk memastikan kestabilan keluaran radiasi.

Pengukuran Error Tegangan Tabung(kVp)

- 1) Menggunakan mode scout/ topogram, detektor ditempatkan sesuai rekomendasi pabrik.

- 2) Pengukuran dilakukan pada kVp 90, 100, 120, dan 140 dengan mama 200 dan 0,10 s.

Pengukuran Half Value Layer(HVL)

- 1) Detektor diposisikan tegak lurus berkas sinar- X.
- 2) Pengukuran dilakukan pada 120 kVp dan 140 kVp dengan 20 mamas.

Analisis Data

- 1) Menghitung persentase error tegangan tabung.
- 2) Membandingkan nilai HVL dengan batas minimum standar Kemenkes.

Penentuan Kelaikan Alat

- 1) Alat dinyatakan laik pakai apabila seluruh parameter berada dalam batas toleransi.

5. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara kuantitatif dengan

- 1) rumus persentase error kVp,
- 2) perhitungan nilai HVL,
- 3) membandingkan hasil dengan standar uji,
- 4) menentukan status kelulusan(Pass/ Fail).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap kalibrasi dilakukan dimulai dengan menyiapkan lembar kerja dan pendataan alat sesuai dengan apa yang dilakukan saat proses kalibrasi sedang berlangsung. Lalu melakukan pengkondisian ruangan kalibrasi. Jika suhu ruangan kalibrasi telah sesuai maka, proses selanjutnya adalah lakukan pemeriksaan fisik dan fungsi alat. Setelah mengetahui alat *CT Scan* baik maka selanjutnya masuk ke tahap kalibrasi *CT Scan* sesuai dengan metode kerja kalibrasi. Jika proses kalibrasi telah selesai dilakukan maka penulis melakukan analisa data kalibrasi. Jika alat yang dikalibrasi yaitu *CT Scan* laik pakai maka ditempel label hijau, begitupun sebaliknya jika alat yang dikalibrasi yaitu *CT Scan* tidak laik pakai maka ditempel label merah. Setelah semua proses kalibrasi telah dilakukan maka proses penyusunan Karya Tulis Ilmiah dapat dilakukan.

Hasil Uji Fungsi Kinerja Alat

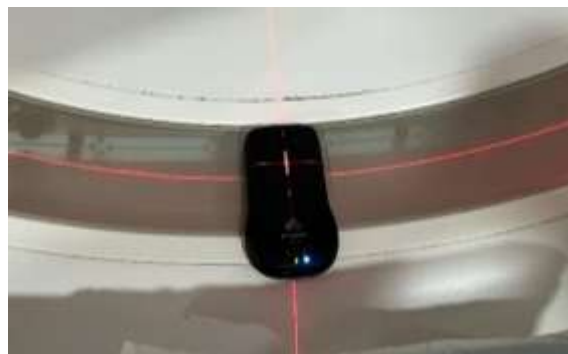
Berikut merupakan hasil pengujian parameter yang diukur :

Uji Prosentasi kesalahan (% error) Tegangan Tabung

Pengujian bertujuan untuk melihat kesesuaian antara tegangan setting pada panel control dengan tegangan yang terbaca. Alat uji yang digunakan adalah Multi meter X-Ray dengan metode uji lakukan prosedur pemanasan tabung X-Ray kemudian letakan detector sesuai rekomendasi, gunakan mode scout, topogram atau sceno dan lakukan pengukuran untuk mendapatkan waveform radiasi pada tegangan tabung yang digunakan yaitu kVp 90, 100, 120 dan 140, mA 200 dan s 0,10. Nilai lolos uji dari kesalahan (error) $\leq \pm 6\%$, catat nilai kVp yang diatur pada panel control dan nilai kVp yang terukur pada alat ukur. Berikut ini hasil pengukuran Akurasi Tegangan pada tabel 1 dan gambar 3 berikut ini :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Akurasi Tegangan Tabung.

No	Setting Alat (UIT)			Pembacaan Standar	Toleransi
	kVp_{set}	mA	s	kVp_{ukur}	
1	90	200	0,10	89,48	$\leq \pm 6\%$
2	100			99,63	
3	120			118,94	
4	140			139,37	



Gambar 3. Pengukuran Akurasi Tegangan.

Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL)

Pengujian ini bertujuan untuk menilai kecukupan filtrasi yang dipasang dalam menyaring sinar-x energi rendah atau kualitas berkas sinar-x. pengujian dilakukan dengan cara memastikan bahwa tabung telah dipanasi dan dipastikan bahwa tidak ada filter tambahan yang terpasang, kemudian posisikan detector sedemikian rupa sehingga pada saat eksposi posisi detector tegak lurus tabung sinar-x, pilih mode scout dan lakukan scan pada detector dengan nilai seting 120 kVp, 20 mAs dan 140 kVp, 20 mAs. Nilai lolos uji 120 kVp, HVL $\geq 3,8$ mmAl

dan 140 kVp, $HVL \geq 4,6 \text{ mmAl}$ Catat nilai HVL yang terukur pada nilai kVp dan bandingkan nilai lolos ujinya. Berikut ini hasil pengukuran Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL) pada tabel 4.7 dan gambar 4.2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kualitas Berkas Sinar-X (HVL).

No	Pembacaan Alat (UUT)		Pembacaan Standar	Toleransi
	kVp	mAs	mmAl	
1	120	20	7,32	$\geq 3,8 \text{ mmAl}$
2	140		8,21	$\geq 4,6 \text{ mmAl}$



Gambar 4. Pengukuran Kualitas Berkas Sinar-X (HVL).

Hasil Analisa Data

Adapun hasil analisa data untuk menentukan alat *CT Scan* itu laik atau tidak laik terlihat pada tabel 3 dibawah ini :

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kelaikan.

Parameter	Setting		Hasil Ukur	Hasil Perhitungan	Nilai Lolos Uji	Status
	kVp	mAs				
Uji Prosentasi	90		89,48 kV	0,6%	Error	Lulus/Pass
Kesalahan (%)	100	200	99,63 kV	0,4%	≤ ± 6%	
Error) Tegangan	120	0,10	118,94 kV	0,9%		
Tabung	140		139,37 kV	0,4%		
Uji Kualitas	120		7,32 mmAl	7,32 mmAl	≥ 3,8 mmAl	Lulus/Pass
Berkas Sinar-X (HVL)	140	20	8,21 mmAl	8,21 mmAl	≥ 4,6 mmAl	

Dari tabel hasil pemeriksaan kondisi fisik dan fungsi alat dinyatakan baik, pemeriksaan suhu dan kelembaban ruangan tidak melebihi batas toleransi dan parameter pengujian prosentasi kesalahan (% error) tegangan tabung pada setting 90 kVp, 100 kVp, 120 kVp dan 140 kVp dengan nilai setting 200 mA dan 0,10 s masih masuk dalam nilai lolos uji. Berikutnya pada pengujian kualitas berkas sinar-X (HVL) dengan setting 120 kVp, 140 kVp dan 20 mAs masih masuk dalam nilai lolos uji. Dalam metode kerja pengujian *CT Scan* No. 056-18 tahun 2024

dikatakan bahwa hasil uji dinyatakan laik pakai jika seluruh parameter kinerja masuk dalam batas toleransi dan memenuhi persyaratan. Dari hasil analisa data diatas *CT Scan merk SIEMENS Type SOMATOM go. TOP* yang ada di RSUD Banyumas semua parameter masuk dalam batas toleransi maka dinyatakan **LAIK PAKAI**.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui peneliti yang telah dilakukan oleh penulis mengenai alat *CT Scan merk SIEMENS type SOMATOM go. TOP* maka dapat disimpulkan yaitu :

Metode kalibrasi yang dilakukan yaitu berpedoman pada metode kerja pengujian *CT SCAN* dengan No. MK: 056-18 tahun 2024 Kementrian Kesehatan Republik Indonesia. Penelitian dilakukan menggunakan 2 parameter pada alat *CT Scan*. Proses kalibrasi dilakukan sebanyak 4 kali pengambilan data untuk uji prosentasi kesalahan (% error) tegangan tabung dan 2 kali pengambilan data untuk uji kualitas berkas sinar-x (HVL). Tujuan pengujian prosentasi kesalahan (% error) tegangan tabung yaitu untuk melihat kesesuaian antara tegangan setting pada panel control dengan tegangan yang terbaca dan tujuan dari pengujian kualitas berkas sinar-x (HVL) untuk menilai kecukupan filtrasi yang dipasang dalam menyaring sinar-x energi rendah atau kualitas berkas sinar-x. Peralatan yang digunakan saat kalibrasi *CT Scan* yaitu Multimeter X-Ray Piranha Multi (657) dan Thermohygrometer. Sebelum melakukan kalibrasi alat *CT Scan* melakukan prosedur pemanasan. Cara pengujian prosentasi kesalahan (% error) tegangan tabung pastikan detector piranha sesuai rekomendasi pabrik. Gunakan mode scout dan lakukan pengukuran untuk mendapatkan gelombang radiasi pada tegangan tabung yang sering digunakan. Pengujian kualitas berkas sinar-x (HVL) pengujian dilakukan dengan cara memastikan bahwa tabung telah dipanasi, kemudian posisikan detector tegak lurus tabung sinar-x, pilih mode scout dan lakukan scan pada detector

Saran

Pembuatan karya ilmiah ini belum sempurna dan mempunyai beberapa kekurangan, sehingga akan memberikan saran sebagai berikut.

Sebelum melakukan pengambilan data perlu memperhatikan beberapa hal antara lain kondisi lingkungan kalibrasi serta kemungkinan kesalahan yang terjadi akibat Human Error.

Sebelum melakukan kalibrasi sebaiknya harus memahami standar atau acuan dan peraturan menteri kesehatan tentang kalibrasi, agar tidak kesulitan ketika perusahaan kalibrasi tidak memberi info yang lengkap mengenai metode kerja yang bersifat rahasia bagi perusahaan.

DAFTAR REFERENSI

- N. K., & I. S. (2010). Evaluasi nilai noise sebelum dan sesudah kalibrasi CT scan. ugm.ac.id.
- Ary Kurniawati, Cholid Badri, & Jeffri Ardiyanto. (2023). Desain phantom air untuk kalibrasi CT number dan keseragaman CT number pada pesawat CT Scan. *Jurnal Imejng Diagnostik (JImeD)*.
- Ayu, R. G. (2018). Analisis noise berdasarkan slice thickness dengan teknik irisan axial pada citra CT Scan. unej.ac.id.
- Ayu, R. G. (2018). Analisis noise berdasarkan slice thickness dengan teknik irisan axial pada citra computed tomography scan (CT-Scan) (Skripsi). Jurusan Fisika, Universitas Jember.
- Fransiska, Aditya. (2024). Uji kesesuaian berkas sinar-X mobile di Rumah Sakit Bhayangkara Jambi (Skripsi). Program Studi Fisika, Universitas Jambi.
- Hussain, S., et al. (2022). Modern diagnostic imaging technique applications and risk factors in the medical field: A review. *PMC Articles*. <https://doi.org/10.1155/2022/5164970>
- Ilmu, R. (2018). Dosimeter. rakusilmu.home.blog.
- International Atomic Energy Agency. (n.d.). Handbook of basic quality control tests for diagnostic radiology. IAEA.
- Kesehatan, U. (2009). Undang-undang Republik Indonesia nomor 36 tahun 2009 tentang kesehatan.
- Mullen, L. J. (2020). Understanding X-ray images: A medi(c)a(l) aesthetics approach. Dalam S. Josephson, J. D. Kelly, & K. Smith (Eds.), *Handbook of visual communication: Theory, methods, and media* (Edisi ke-2, pp. 304–320). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429491115-28>
- Nariswari, N. N. (2018). Analisa variasi faktor eksposisi dan ketebalan irisan terhadap CT Scan. unej.ac.id.
- Permenkes. (2015). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 54 tahun 2015. Kementerian Kesehatan RI.
- Rapih, R. S. (2021). Pemindaian tomografi terkomputasi (CT Scan). pantirapih.or.id.
- Schiffers, F., Bochynek, T., Aichert, A., Würfl, T., Rubenstein, M., & Cossairt, O. (2020). Disassemblable fieldwork CT scanner using a 3D-printed calibration phantom. *arXiv*.
- Sutanto, A. R. (2014). Uji kesesuaian CT number pada pesawat CT Scan multi slice.