



Uji Kesesuaian Kinerja dan Analisis Reprodusibilitas Akurasi Tegangan Tabung Pesawat Sinar-X di Balai Pengamanan Alat Fasilitas Kesehatan Makassar

Nur Isnaeni¹, Suci Khusnul Amelia¹, M. Ichsan¹, Jumardin^{1*}, Sitti Nurrahmi¹, Jasdard Agus¹, Khaerul Bariah², Dwi Febri Isradiati²

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Laboratorium Proteksi Radiasi dan Uji Kesesuaian, Balai Pengamanan Alat Fasilitas Kesehatan Makassar

Email: jumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Telah dilakukan pengujian uji kolimasi berkas sinar-X, uji akurasi tegangan, uji reprodusibilitas, dan keempat adalah uji keluaran berkas sinar-X (*Half Value Layer*) pada pesawat X-ray Mobile. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui standar yang telah ditetapkan. Pengujian yang telah dilakukan pada iluminasi dan selisih lapangan kolimasi berkas dengan berkas sinar-X menunjukkan hasil yang di dapatkan dinyatakan lolos uji pada pesawat sinar-X. Kedua pengujian pengujian tersebut sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pengujian reprodusibilitas dilakukan dengan mengukur keluaran radiasi (mGy) pada setelan yang sama berulang kali. Data tersebut menunjukkan rerata terkoreksi sebesar 0,075 mGy dengan standar deviasi 0,0034 menandakan bahwa pesawat sinar-X memiliki reprodusibilitas yang baik dalam menghasilkan keluaran radiasi yang konsisten. pesawat sinar-X mobile unit yang diuji memiliki akurasi dan reprodusibilitas yang memadai yang sesuai dengan standar yang ditetapkan serta menunjukkan keandalan perangkat dalam praktik klinis. Pengujian keluaran berkas sinar-X yang telah dilakukan dan diperoleh nilai HVL terkoreksi yang lebih besar dari nilai lolos uji. Hasil yang didapatkan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Kata kunci: Akurasi; HVL; Kolimasi; Reprodusibilitas; Sinar-X

Abstract

The X-ray beam collimation test, voltage accuracy test, reproducibility test, and fourth is the X-ray beam output test (Half Value Layer) on the Mobile X-ray aircraft. This testing aims to determine the standards that have been set. Tests that have been carried out on the illumination and the difference between the collimation field of the beam and the X-ray beam show that the results obtained have passed the test on an X-ray aircraft. Both tests are in accordance with established standards. Reproducibility testing is carried out by measuring the radiation output (mGy) at the same settings repeatedly. The data shows a corrected mean of 0.075 mGy with a standard deviation of 0.0034, indicating that the X-ray aircraft has good reproducibility in producing consistent radiation output. The mobile X-ray unit tested had sufficient accuracy and reproducibility that complied with established standards and demonstrated the reliability of the device in clinical practice. X-ray beam output testing was carried out and a corrected HVL value was obtained which was greater than the test pass value. The results obtained are in accordance with established standards.

Keywords: Accuracy; Collimation; HVL; Reproducibility; X-ray

1. PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X merupakan salah satu perangkat pencitraan yang digunakan sebagai alat diagnosa. Sinar-X pertama kali ditemukan oleh seorang ahli fisika berkebangsaan Jerman bernama Wilhelm Conrad Rontgen pada tahun 1895. Seiring dengan perkembangannya yang pesat, sinar-X banyak digunakan dalam pelayanan kesehatan khususnya di bidang radiologi, sehingga diperlukan pesawat sinar-X yang andal. Pesawat sinar-X yang andal adalah pesawat sinar-X yang terjamin ketelitian, akurasi dan keamanan penggunaannya. Informasi BAPETEN, terdapat perbedaan antara uji kesesuaian dan pengujian. Uji Kesesuaian (*Compliance Testing*) adalah uji untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan memberikan informasi terkait diagnosis atau pelaksanaan radiologi yang tepat dan akurat [1]. Uji kesesuaian merupakan dasar dari suatu program jaminan mutu radiologi diagnostik yang mencakup sebagian tes program jaminan mutu, khususnya parameter yang menyangkut keselamatan radiasi [2].

Ketelitian dan keakuratan dari tegangan tabung pesawat sinar-X hanya dapat dijamin melalui kalibrasi atau uji kesesuaian secara teratur sesuai dengan Peraturan Kepala (PERKA) BAPETEN No. 9 Tahun 2011 tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional. Parameter yang harus kalibrasi atau diuji pada pesawat sinar-X diantaranya adalah akurasi tegangan tabung sinar-X dan ketegaklurusan titik fokus berkas sinar-X. Akurasi tegangan tabung sinar-X mempengaruhi penerimaan dosis radiasi pasien dan kualitas citra yang dihasilkan sedangkan titik fokust berkas sinar-X juga berpengaruh terhadap sudut penyinaran [3].

Tingkat kesesuaian dalam pesawat sinar-X juga sangat berpengaruh terhadap kualitas radiograf yang baik. Kegiatan kendali mutu atau QC (*quality control*) yang dilakukan di instalasi radiologi bertujuan untuk memasikan pelayanan radiodiagnostik dengan sebuah peralatan yang baik [4]. Tegangan tabung (kVp) berpengaruh terhadap keluaran sinar-X yang keluar. Berdasarkan BAPATEN Nomor 9 tahun 2011, nilai lolos uji dari hasil uji generator dan tabung pada tegangan puncak (kVp) yaitu *Coefisien of Variation* (CV) $\leq 0,05$. Uji tegangan tabung pesawat sinar-X dapat dievaluasi melalui pengujian dengan menggunakan (kVp) meter dan uji kesesuaian dapat dilakukan setiap tahun atau setelah perbaikan generator pesawat sinar-X dengan nilai batas toleransi akurasi kVp $\leq 5\%$ [5]. Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk analisis dan uji kesesuaian pesawat sinar-X adalah uji kesesuaian berkas cahaya kolimasi pada pesawat sinar-X [6] dan analisis uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi *mobile merk allengers type MARS-6 SBM* [7].

Pengujian reproduksibilitas adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan tingkat konsistensi hasil analisis yang diperoleh dari suatu metode analisis yang dilakukan oleh analis yang berbeda, menggunakan peralatan yang berbeda, dan dalam kondisi yang berbeda [8]. Tujuan pengujian tersebut untuk mengetahui suatu metode analisis dapat menghasilkan hasil yang konsisten dan dapat diulangi dengan baik oleh analis yang berbeda dan menggunakan peralatan yang berbeda.

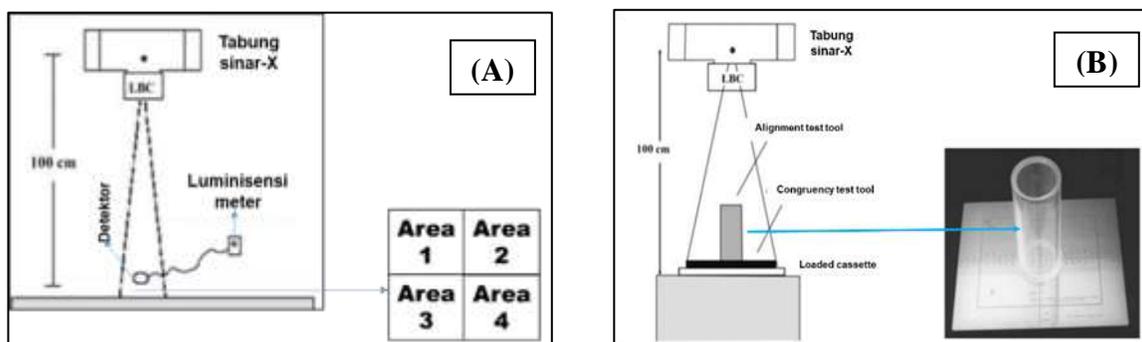
Tujuan utama program jaminan kualitas (*Quality Assurance Program*) pada Instalasi Radiologi adalah diagnosa pasien yang tepat dan akurat [9]. Pengujian untuk pesawat sinar-

X merupakan bagian penting dari proses kualifikasi daneliharaan perangkat peralatan yang digunakan di berbagai bidang. Tujuan pengujian ini untuk memastikan bahwa perangkat pesawat sinar-X beroperasi dengan baik, aman, dan memberikan hasil yang akurat serta konsisten. Beberapa jenis pengujian yang dilakukan meliputi uji akurasi tegangan tabung [10], uji reproduksibilitas [11], dan uji kualitas berkas sinar-X (*Half-Value Layer*) [12]. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali kali pengukuran kecuali parameter reproduksibilitas dilakukan sebanyak 5 kali di Balai Pengamanan Alat Fasilitas Kesehatan (BPAFK) Makassar dan rumah sakit X di kota Makassar.

2. METODE PENELITIAN

Terdapat empat metode pengukuran yang dilakukan pada pengujian pesawat sinar-X. Pertama adalah uji kolimasi berkas sinar-X, kedua adalah uji akurasi tegangan, ketiga adalah uji reproduksibilitas, dan keempat adalah uji keluaran berkas sinar-X (*Half-value layer*) atau HVL. Alat yang digunakan pada pengujian pesawat sinar-X *mobile* adalah *Multimeter X-Ray*, *Light Meter*, *Collimator Test Tool*, *Beam Allignment Test*, *Thermohygrometer*, *Digital Multimeter*, Mistar Baja, Rol Meter, dan *Water Pass*. Bahan yang digunakan adalah Lembar kerja, Plaster atau Lakban, dan Lembar riwayat pemaikaian alat.

Tahapan pertama adalah pengujian berkas kolimasi sinar-X. Tahapan ini terdiri dari uji kolimasi dan uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X. Bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara berkas sinar-X dengan cahaya dari kolimator dan ketepatan berkas (*alignment*) obyek. Metode pengujian untuk uji kolimasi berkas sinar-X terlihat pada gambar 1A. Pada uji iluminasi pertama-tama menempatkan *Light Meter* 100 cm dari focus tabung sinar-X, memasang *detector*, kemudian mengurangi pencahayaan ruangan dan mengukur tingkat pencahayaan, kemudian catat cahaya latar (lux latar), menyalakan berkas cahaya pada kolimator dengan area kira-kira 25 cm x 25 cm. Selanjutnya melakukan pemisahan pengukuran berdasarkan empat area pengukuran (gambar 1A) meletakkan *detector* pada keempat area tersebut. Mencatat hasil pengukuran cahaya kolimator (lux) pada masing masing area, terakhir. Menghitung rata rata cahaya kolimator (lux terukur).



Gambar 1. (A) Ilustrasi uji iluminasi dan (B) Ilustrasi pengujian selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X.

Uji selisih lapangan kolimasi berkas sinar-X dilakukan dengan cara meletakkan collimator test tool di atas *image receptor* seperti terlihat gambar 1 (B). Sentrasi tabung sinar-X dipusatkan di tengah *image reseptor* (kaset) dan mengatur jarak anatar fokus dengan film setinggi 100 cm (SID=100 cm). Memastikan kerataan kolimator, permukaan, dan tabung dengan menggunakan water pass. Menempatkan collimator test tool pada pertengahan kaset, meletakkan titik penanda pada *collimator test tool*. Mengatur cahaya kolimator tepat dalam area persegi panjang plat test tool. Menempatkan beam alignment test tool pada pusat area pencahayaan. Menghidupkan lampu kolimator, mengatur luasan lapangan cahaya sesuai dengan garis persegi panjang yang ada pada permukaan plat. Melakukan eksposi radiografi agar diperoleh densitas optis pada film yang dapat di evaluasi. Melakukan pemrosesan pada film. Perhitungan penyimpangan luas kolimator untuk sumbu X dan sumbu Y ditentukan menggunakan persamaan (1) dan (2) [12]. Nilai lolos uji untuk alignment $\leq 3^\circ$ (pada lingkaran kedua) untuk tinggi alat *collimator test tool 6 inchi* menggunakan persamaan (3). θ adalah sudut pergeseran titik pengamatan terhadap titik acuan. r adalah jarak pergeseran titik pengamatan terhadap titik acuan dan h merupakan tinggi alat *collimator test tool*. Analisis data menggunakan persamaan (4). X adalah bacaan cahaya kolimator (lux). I adalah bacaan ke-I dan A adalah bacaan cahaya latar (lux).

$$X_1+X_2 \leq 2\% \text{ FFD} \quad (1)$$

$$Y_1+Y_2 \leq 2\% \text{ FFD} \quad (2)$$

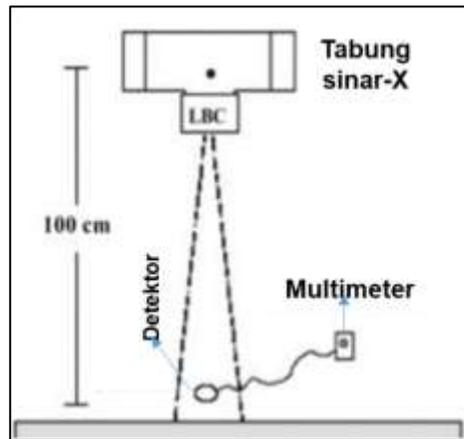
$$\tan \theta = \frac{r}{h} \quad (3)$$

$$\text{Rerata Net Bacaan (Ilum.)} = \frac{\sum(X.I - A)}{4} \quad (4)$$

Tahapan kedua adalah pengujian akurasi tegangan tabung sinar-X yang terlihat pada gambar 2. Pada pengujian akurasi tegangan tabung langkah pertama yang dilakukan adalah pendataan generator dan tabung, kemudian memastikan pesawat sinar-X telah diaktifkan, kemudian mengurangi filter tambahan atau minimalkan filter tambahan, memposisikan detektor, menentukan bentuk gelombang radiasi dengan menggunakan 70 kVp atau yang mendekati, Melakukan pengukuran mulai dari 60 kVp, dan mengulangi dengan peningkatan kVp setiap 10 kVp sampai 100 kVp. Akurasi Tegangan (AT) (kVp) atau nilai eror dihitung menggunakan persamaan (5) [13]. Nilai lolos uji dari error $\leq \pm 10\%$ [14].

$$AT = \frac{\text{kVp alat (setting)} - \text{kVp alat (ukur)}}{\text{kVp alat (setting)}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{Reproduksibilitas} = CV = \frac{s}{x} = \frac{1}{x} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n-1}} \quad (6)$$



Gambar 2. Ilustrasi pengujian akurasi tegangan tabung sinar-X.

Tahapan ketiga adalah pengujian reproduksibilitas. Mengatur peralatan seperti pada uji akurasi tegangan dengan cara memposisikan detektor, mencatat SSD (*Source-to-Surface Distance*), melakukan penyinaran dengan menggunakan faktor penyinaran yang biasa digunakan, dan mengulangi 5 kali dalam periode tidak melebihi 10 menit. Tegangan tabung dan waktu penyinaran pada *setting* tunggal gunakan *setting* mAs, sebelum melakukan pengulangan penyinaran ulangi penyetingan dari awal. Analisis data reproduksibilitas menggunakan persamaan (6) [15]. x_i adalah hasil pengukuran ke -i, \bar{x} adalah nilai rata-rata, s adalah standar deviasi dan n adalah jumlah pengukuran.

Tahapan keempat adalah pengujian keluaran berkas sinar-X (HVL) [16]. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran adalah pengaturan peralatan seperti pengujian akurasi tegangan. Mengatur nilai kVp pada kontrol panel pesawat sinar-X, sesuai dengan nilai yang ingin di uji. Melakukan eksposi sinar-X. Mencatat hasil yang di peroleh pada lembar kerja. Analisa data dengan cara menggunakan alat ukur HVL. Menggunakan alat ukur HVL dan pada pengaturan untuk tegangan 80 kVp serta menggunakan metode interpolasi hitung nilai HVL pada 70 kVp dan 80 kVp.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data tabel 1 hasil pengujian iluminasi latar di atas dapat dilihat bahwa nilai hasil ukur yang terbaca pada area 1, 2, 3, dan 4 adalah 40,44 lux, 41,89 lux, 40,52 lux dan 42,48 lux. Nilai hasil ukur yang telah dikoreksi didapatkan 40,436 lux, 41,889 lux, 40,523 lux dan 42,476 lux. Nilai hasil pengukuran yang telah dikoreksi digunakan untuk memperbaiki kemungkinan kesalahan dalam pengukuran awal. Nilai rerata terkoreksi pada keempat area tersebut adalah 41 lux dan standar deviasi yang didapatkan 1,0126 ini dapat mengindikasikan bahwa pengukuran intensitas cahaya memiliki konsistensi yang baik. Koreksi yang dilakukan pada hasil pengukuran membantu memberikan gambaran yang lebih akurat tentang intensitas cahaya di setiap area.

Tabel 1. Hasil data mentah pengujian iluminasi latar ruang sinar-X.

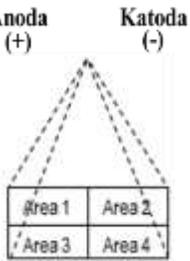
Titik Ukur	Hasil Ukur (lux)	Hasil Ukur Terkoreksi (lux)	Rerata Terkoreksi (lux)	STDEV.
Area 1	40,44	40,436	41	1,0126
Area 2	41,89	41,889		
Area 3	40,52	40,523		
Area 4	42,48	42,476		

Tabel 2 hasil pengujian iluminasi latar di atas dapat dilihat bahwa nilai hasil ukur yang terbaca pada area 1, 2, 3, dan 4 adalah 254,16 lux, 261,26 lux, 274,58 lux dan 285,38 lux. Nilai hasil ukur yang telah dikoreksi didapatkan 254,2 lux, 261,3 lux, 274,6 lux dan 285,4 lux. Nilai hasil pengukuran yang telah dikoreksi digunakan untuk memperbaiki kemungkinan kesalahan dalam pengukuran awal. Nilai rerata terkoreksi pada keempat area tersebut adalah 269 lux dan standar deviasi yang di dapatkan 13,8963 menunjukkan variasi dalam hasil pengukuran namun masih dalam rentang yang wajar dengan nilai ketidakpastiaan yang di dapatkan ± 21 lux menunjukkan bahwa hasil pengukuran dapat bervariasi dalam rentang tersebut menandakan adanya kemungkinan kesalahan atau variabilitas dalam proses pengukuran.

Tabel 2. Hasil data mentah pengujian iluminasi berkas sinar-X.

Titik Ukur	Hasil Ukur (lux)	Hasil Ukur Terkoreksi (lux)	Rerata Terkoreksi (lux)	STDEV.	KTP (\pm)
Area 1	254,16	254,2	269	13,8963	21
Area 2	261,26	261,3			
Area 3	274,58	274,6			
Area 4	285,38	285,4			

Tabel 3. Hasil perhitungan pengujian iluminasi berkas sinar-X.

Posisi Pengukuran	Titik Ukur	Pengukuran (lux)	Rerata (lux)	Rerata Cahaya Latar (lux)	Net Iluminasi (lux)	Nilai Lolos Uji (lux)	Kesimpulan
	Area 1	254	269	41	228	≥ 100 lux	Sesuai
	Area 2	261					
	Area 3	275					
	Area 4	285					

Berdasarkan data pada tabel 3 diperoleh dari uji kolimasi pengujian sinar-X dengan nilai rerata iluminasi terbaca pada area 1 (254 lux), 2 (261 lux), 3 (275 lux), dan 4 (285 lux)

adalah 269 lux. Nilai rerata cahaya latar pada keempat area tersebut adalah 41 lux. Nilai net iluminasi dengan cara mengurangi nilai rerata iluminasi yang terbaca dengan nilai rerata cahaya latar. Nilai net iluminasi pada keempat area adalah 228 lux. Nilai net iluminasi merupakan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh lampu kolimator pada pesawat sinar-X. Penentuan hasil pengujian iluminasi ini sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan lebih besar atau sama dengan 100 lux. Nilai perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai net iluminasi pada keempat area tersebut lebih besar dari nilai lolos uji.

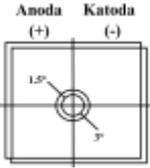
Tabel 4. Hasil data mentah selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X.

Titik Ukur	Tepi Lap. Cahaya (mm)			Tepi Lap. sinar-X (mm)			Tepi Lap. sinar-X terkoreksi (mm)			Rerata Terkoreksi (mm)	STDEV.	KTP (\pm)
	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
X1	90	90	90	92	92	92	92,0	92,0	92,0	92	0,0000	0,49
X2	100	100	100	93	93	93	93,0	93,0	93,0	93	0,0000	0,49
Y1	70	70	70	60	60	60	60,0	60,0	60,0	60	0,0000	0,59
Y2	72	72	72	72	72	72	72,0	72,0	72,0	72	0,0000	0,49

Tabel 5. Data mentah hasil uji ketegaklurusan.

Selisih Titik Pusat Citra (mm)			Selisih Titik Pusat Citra Terkoreksi (mm)			Rerata Terkoreksi (mm)	Hasil Hitung ($^{\circ}$)
I	II	III	I	II	III		
3	3	3	3,0	3,0	3,0	3	1,1

Tabel 6. Hasil uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X.

Ilustrasi Pengukuran	Titik Ukur	Tepi Lap. Cahaya (cm)	Tepi Lap. Sinar-X (cm)	$ \Delta X + \Delta Y $ (%)	Nilai Lolos Uji (%)	Kesimpulan
	X ₁	9,0	9,2	0,9	$\Delta X + \Delta Y \leq 2$	Sesuai
	X ₂	10,0	9,3			
	Y ₁	7,0	6,0	1,0		
	Y ₂	7,2	7,2			
Ketegaklurusan	Hasil ukur ($^{\circ}$)			Nilai lolos uji ($^{\circ}$)		
	1,1			3		Sesuai

Berdasarkan data yang diperoleh dari uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada pengujian pesawat-X dapat dilihat pada tabel 6. Nilai rerata selisih antara tepi lapangan cahaya dan tepi lapangan sinar-X pada titik ukur X₁, X₂, Y₁, dan Y₂ adalah 0,9%, 0,7%, 1,0%, dan 0,0%. Nilai rerata selisih menunjukkan perbedaan luas lapangan yang

dihasilkan oleh sinar-X dengan luas lapangan cahaya yang ditunjukkan oleh lampu kolimator. Pengujian selisih lapangan kolimasi ini sesuai dengan standar yang ditetapkan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu $|\Delta X| + |\Delta Y| \leq 2\% \text{ FFD}$. Pada perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai rerata selisih pada keempat titik ukur tersebut lebih kecil dari nilai lolos uji sehingga didapatkan hasil pengujian pada selisih lapangan kolimasi sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hal ini berarti bahwa luas lapangan sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sinar-X sesuai dengan luas lapangan cahaya yang ditunjukkan oleh lampu kolimator.

Data yang diperoleh juga dapat dilihat pada nilai rerata selisih titik pusat citra pada pesawat sinar-X adalah 3 mm yang setara dengan $1,1^\circ$ (tabel 5). Nilai tersebut menunjukkan ketegaklurusan berkas sinar-X terhadap bidang film. Pengujian ketegaklurusan tersebut menyesuaikan dengan standar yang ditetapkan sehingga dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan. Perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai rerata selisih titik pusat citra lebih kecil dari nilai lolos uji sehingga dapat didapatkan hasil pengujian ketegaklurusan ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Berkas sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sinar-X yang sejajar dengan bidang film.

Tabel 7. Hasil data mentah pengujian akurasi tegangan tabung sinar-X.

Tegangan Tabung (kVp) - Setting	Tegangan Tabung (kVp) - Terukur			Tegangan Tabung (kVp) - Terkoreksi			Rerata Terkoreksi (kVp)	STDEV.	KTP (±)
	I	II	III	I	II	III			
50	51,03	51,21	51,13	51,15	51,33	51,25	51,25	0,0897	0,31
70	70,24	70,14	70,09	70,38	70,28	70,22	70,29	0,0781	0,41
90	91,73	91,69	91,54	91,73	91,69	91,54	91,65	0,1004	0,53

Tabel 8. Hasil pengukuran uji akurasi tegangan tabung sinar-X.

Posisi Penyinaran-Setting			Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan	Kesimpulan
Arus Listrik Tabung (mAs)	SSD (cm)	Tegangan Tabung (kVp)	Tegangan Tabung Terukur (kVp)	Akurasi Tegangan (%)	Lolos Uji (%)	
20	100	50	51,25	2,5	Error (E) ≤ 10	Sesuai
		70	70,29	0,4		
		90	91,65	1,8		

Berdasarkan data pada tabel 7 dan 8 yang diperoleh dari uji akurasi tegangan tabung kVp pesawat sinar-X dapat dilihat bahwa nilai rerata tegangan terkoreksi pada setiap tegangan *setting* adalah 51,25 kVp, 70,29 kVp, dan 91,65 kVp. Nilai rerata tegangan terkoreksi menunjukkan tegangan tabung yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X saat melakukan eksposi dengan nilai mAs tetap sebesar 20 mAs dan SDD adalah 100 cm. Penentuan nilai dari hasil pengujian akurasi tegangan tabung ini sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu (error) $e \text{ max} \leq 10\%$. Nilai $e \text{ max}$ adalah error maksimum yang diperbolehkan antara tegangan

setting dengan tegangan terukur. Pada perbandingan tersebut dapat dilihat nilai error pada setiap kVp set adalah 2,5%, 0,4%, dan 1,8%. Nilai error ini lebih kecil dari nilai lolos uji, sehingga didapatkan hasil pengujian yang akurasi tegangan tabung sinar-X sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hal ini berarti tegangan tabung yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X sesuai dengan tegangan tabung yang diharapkan.

Tabel 9. Hasil data mentah pengujian reproduksibilitas.

Parameter Pengukuran	Hasil Pengukuran (10^{-2})					Hasil Terkoreksi (10^{-2})					Rerata Terkoreksi
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	
Keluaran Radiasi (mGy)	7	8	71	71	71	73	81	73	73	73	0,075
Tegangan Tabung (kVp)	539	539	537	538	537	535	539	537	538	537	53,85

Tabel 10. Hasil perhitungan pengujian reproduksibilitas.

Setting			Parameter	Hasil Pengukuran	STDEV.	CV	Nilai Lolos Uji	Kesimpulan
Tegangan Tabung (kVp)	Arus Listrik (mAs)	SDD (cm)						
54	6,40	100	Keluaran Radiasi (mGy)	0,075	0,0034	0,046	CV \leq 0,05	Sesuai
			Tegangan Tabung (kVp)	53,85	0,0961	0,002		Sesuai

Berdasarkan data pada tabel 9 dan 10 yang diperoleh dari pengujian reproduksibilitas pada pesawat sinar-X didapatkan nilai rerata keluaran radiasi (mGy) dan tegangan tabung (kVp) terkoreksi pada setiap setting adalah 0,075 mGy dan 53,85 kVp. Nilai rerata ini menunjukkan konsistensi hasil pengukuran yang dilakukan oleh pesawat sinar-X dengan menggunakan parameter eksposi yang sama (setting) yaitu 54 kVp, 6,40 mAs dan SDD adalah 100 cm. Hasil pengujian reproduksibilitas tersebut sesuai dengan standar yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu CV \leq 0,05. CV adalah koefisien variasi yang menunjukkan nilai variasi hasil pengukuran terhadap rerata hasil pengukuran. Perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa nilai CV pada setiap parameter adalah 0,046 dan 0,002. Nilai CV ini lebih kecil dari nilai lolos uji, sehingga didapatkan hasil nilai pengujian reproduksibilitas ini sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hasil tersebut menunjukkan pesawat sinar-X dapat menghasilkan hasil pengukuran yang konsisten dan akurat.

Tabel 11. Hasil data mentah hasil uji keluaran berkas sinar-X.

Tegangan Tabung	HVL Terukur (mmAl)	HVL Terkoreksi (mmAl)	Rerata	HVL Interpolasi (mmAl)	KTP (\pm)
-----------------	--------------------	-----------------------	--------	------------------------	---------------

Terkoreksi (kVp)	I	II	III	I	II	III		Tegangan (kVp)	HVL	
51,25	1,95	1,91	1,92	1,954	1,914	1,920	1,93	52	1,96	0,050
59,74	2,28	2,29	2,29	2,280	2,294	2,292	2,29	60	2,30	0,015
70,29	2,67	2,67	2,68	2,672	2,675	2,677	2,67	70	2,66	0,0073
81,49	3,13	3,14	3,14	3,133	3,144	3,136	3,14	80	3,08	0,012
91,65	3,54	3,54	3,55	3,538	3,543	3,549	3,54	90	3,48	0,012

Tabel 12. Hasil data perhitungan uji keluaran berkas sinar-X.

Pengukuran-Setting			Filter tambahan (mmAl)	Hasil ukur (mmAl)	Nilai lolos uji (mmAl)	Kesimpulan
Arus Listrik Tabung (mAs)	SDD (cm)	Tegangan Tabung (kVp)				
20	100	60	Tidak Dilepas	2,30	$\geq 1,5$	Sesuai
		70		2,66	$\geq 2,1$	Sesuai
		80		3,08	$\geq 2,3$	Sesuai
		90		3,48	$\geq 2,5$	Sesuai

Berdasarkan data yang diperoleh dari tabel 11 dan 12 pada pengujian uji keluaran berkas sinar-X, nilai rerata HVL terkoreksi pada setiap kVp terukur adalah 1,93 mmAl, 2,29 mmAl, 2,67 mmAl, 3,14 mmAl, dan 3,54 mmAl. Nilai rerata HVL terkoreksi ini menunjukkan ketebalan filter aluminium yang dibutuhkan untuk mengurangi intensitas radiasi sinar-X hingga setengah dari intensitas awal. Hasil pengujian HVL ini sesuai dengan standar BAPETEN RI Nomor 2 tahun 2022 yang ditetapkan dan dapat dibandingkan dengan nilai lolos uji yang telah ditentukan, yaitu $HVL \geq 2,1$ mmAl untuk kVp 70 dan $HVL \geq 2,3$ mmAl untuk tegangan tabung 80 kVp. Perbandingan ini dapat menunjukkan nilai HVL terkoreksi pada tegangan tabung 70 kVp dan 80 kVp adalah 2,66 mmAl dan 3,08 mmAl yang lebih besar dari nilai lolos uji sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil pengujian HVL sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh BAPETEN RI Nomor 2 tahun 2022 tentang perubahan peraturan uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi dan intervensional. Hal ini menunjukkan kualitas berkas sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X sesuai dengan yang diharapkan dan memiliki energi efektif yang tinggi dan dosis radiasi yang rendah.

Pengujian ketegaklurusan pada selisih titik pusat citra dan hasil nilai terkoreksi citra selama 3 kali pengambilan data adalah nilai yang konsisten yaitu 3 mm serta rerata terkoreksi yaitu 3 mm dimana hasil hitung setara dengan 1.1° . Data pengukuran tersebut menunjukkan bahwa pada titik pusat citra dilakukan dengan presisi dan konsistensi yang tinggi. Nilai ketidakpastian pengukuran (KTP) menunjukkan rentang error atau margin kesalahan yang kecil dalam proses pengukuran. Hal ini menunjukkan hasil pengukuran sangat akurat dan dapat diandalkan untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai posisi tepi lapangan cahaya dan sinar-X di keempat titik pengukuran. Hasil pengujian pada pesawat sinar-X menunjukkan peralatan tersebut memiliki kinerja yang baik dalam untuk akurasi tegangan tabung sinar-X, keluaran radiasi, reproduksibilitas, selisih lapangan kolimasi, ketegaklurusan, dan kualitas berkas sinar-X. Semua parameter yang diuji sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 2 Tahun

2022. Penelitian ini serupa yang telah dilakukan oleh Enggel Fransiska bersama koleganya dengan hasil kesesuaian luas lapang kolimator dengan luas lapang berkas sinar-X dalam toleransi $\leq 2\%$ *Focus Film Distance* (FFD) dan kesesuaian berkas titik pusat sinar-X dalam toleransi $\Theta=3^\circ$ telah ditentukan oleh Keputusan Menteri Kesehatan No. 1250/SK/XII/2009 [17]. Analisa uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi menunjukkan akurasi tegangan tabung pesawat sinar-X memiliki penyimpangan terbesar pada titik 70 kV sebesar 2,47 % sedangkan nilai lolos uji yaitu $<10\%$ berarti akurasi tegangan pesawat sinar-X tersebut memiliki kualitas yang baik [18].

4. SIMPULAN

Pengujian iluminasi dan selisih lapangan kolimasi berkas dengan berkas sinar-X dinyatakan lolos uji pada pesawat sinar-X terdapat hasil dari pengujian iluminasi untuk standar dinyatakan lolos dalam pengujian. Uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X untuk standar dinyatakan lolos dalam pengujian. Pengujian reproduksibilitas dan kualitas berkas pada pesawat sinar-X sesuai dengan standar yang ditetapkan dan mampu menghasilkan pengukuran yang konsisten dan akurat dalam penggunaan untuk memastikan keandalan dalam pelayanan diagnostik medis.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. L. Nanda, "Analisis Kesesuaian Berkas Sinar-X Dengan cahaya Kolimator Pada Pesawat Rontgen Rumah Sakit Umum Delima," vol. 3, no. 01, 2021.
- [2] Y. Saputra and M. Bisra, "Conformity Test Of The Collimator Beam To X-Ray On Diagnostic X-Ray Machine At The Radiology Installation Of Arifin Achmad Hospital, Riau," *Med. Imaging Radiat. Prot. Res. MIRROR J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, Oct. 2021, doi: 10.54973/mirror.v1i1.59.
- [3] H. Husmiati, B. A. Samad and W. B. Nurdin, "Studi Penentuan Titik Fokus Pada Uji Akurasi Tegangan Tabung Dalam Proses Kalibrasi Pesawat Sinar-X". *Hasanuddin University Repository-Jurnal Fisika Fakultas Matematika Universitas Hasanuddin.* 2016.
- [4] E. J. Durán, L. F. Salas, S. O. Benavides, and G. Bolaños, "Quality Control Implementation on Digital Radiography Equipment at Fundación Valle Del Lili," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1247, no. 1, p. 012007, Jun. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1247/1/012007.
- [5] H. P. Mamma, F. O. Khamis, S. A. Suleiman, E. D. Edmund, S. K. Salum, and A. Makoba, "Quality Control Monitoring of Medical Diagnostic X-Ray Units in Southern Tanzania," vol. 20, no. 1, 2023.
- [6] O.- Damayanti and I.- Gunawan, "Uji Kesesuaian Berkas Cahaya Kolimasi pada Pesawat Sinar-X di Politeknik Al-Islam Bandung," *J. Imejing Diagn. JImeD*, vol. 7, no. 2, pp. 111–113, Jul. 2021, doi: 10.31983/jimed.v7i2.6596.
- [7] N. Lasiyah, Y. Pertiwi, R. Mulyadi, and N. Anto, "Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile Merk ALLENGERS Type MARS-6 SBM," *STRING*

- Satuan Tulisan Ris. Dan Inov. Teknol.*, vol. 7, no. 2, p. 154, Dec. 2022, doi: 10.30998/string.v7i2.13922.
- [8] A. Pilipović, G. Baršić, M. Katić, and M. Rujnić Havstad, “Repeatability and Reproducibility Assessment of a PolyJet Technology Using X-ray Computed Tomography,” *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 20, p. 7040, Oct. 2020, doi: 10.3390/app10207040.
- [9] E. T. Samara, N. Fitousi, and H. Bosmans, “Quality assurance of dose management systems,” *Phys. Med.*, vol. 99, pp. 10–15, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.ejmp.2022.05.002.
- [10] I. K. Putra, G. A. A. Ratnawati, and G. N. Sutapa, “General radiographic patient dose monitoring using conformity test data,” *Int. Res. J. Eng. IT Sci. Res.*, vol. 7, no. 6, pp. 219–224, Oct. 2021, doi: 10.21744/irjeis.v7n6.1953.
- [11] A. J. Ada, U. M. Rachael, A. M. Adebayo, A. A. Oludotun, F. O. Comfort, and A. Akinwumi, “Performance Characteristics of Radiographic equipment in Selected Healthcare Institutions in Southwest Nigeria,” *Open Access Maced. J. Med. Sci.*, vol. 8, no. B, pp. 832–837, Aug. 2020, doi: 10.3889/oamjms.2020.4925.
- [12] E. Fransiska, N. Nehru, and M. F. Afrianto, “Uji Kesesuaian Berkas Sinar-X Dengan Berkas Kolimator Pada Pesawat Sinar-X Di Instalasi Radiologi Rsud Raden Mattaher Jambi,” *Komun. Fis. Indones.*, vol. 15, no. 1, p. 77, Apr. 2018, doi: 10.31258/jkfi.15.1.77-83.
- [13] E. L. Utari and L. Listyalina, “Analisis Reprodusibilitas Akurasi Tegangan Di Pesawat Sinar-X Medis Pada Bagian Thoraks Manusia”.
- [14] N. H. Indah, S. Dewang, and S. D. Astuty, “Analisis Laju Dosis Keluaran Pesawat Sinar-X Fluoroskopi Dual Fungsi Di Rs Wahidin Sudirohusodo Makassar,” vol. 26, no. 1, 2023.
- [15] A. A. C. Y. Prahastiwi, “Uji Kualitas Pesawat Sinar-X Merk Saiemens Tipe Polymobil Plus Di Klinik Batan Kawasan Nuklir Serpong Komplek Puspiptek”. *Laporan Kerja Praktik-Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir*. Universitas Gadjah Mada.
- [16] H. D. Yunitasari, “Evaluasi Metode Penentuan *Half Value Layer* (HVL) Menggunakan *Multi Purpose Detector* (MPD) Barracuda Pada Pesawat Sinar-X Mobile,” vol. 3, no. 2, 2014.
- [17] E. Fransiska, N. Nehru, and M. F. Afrianto, “Uji Kesesuaian Berkas Sinar-X Dengan Berkas Kolimator Pada Pesawat Sinar-X Di Instalasi Radiologi Rsud Raden Mattaher Jambi,” *Komun. Fis. Indones.*, vol. 15, no. 1, p. 77, Apr. 2018, doi: 10.31258/jkfi.15.1.77-83.
- [18] U. Wiharja and A. K. A. Bahar, “Analisa Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi”.