

Uji Kesesuaian Kinerja Generator dan Tabung Pesawat Sinar-X Merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas

Novelia Tohiri*, Afdhal Muttaqin
¹Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas
Kampus Unand, Limau Manis, Padang, 25163

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 30 Oktober 2021
Direvisi: 24 November 2021
Diterima: 29 November 2021

Kata kunci:

generator
pesawat sinar-X
tabung sinar-X
Uji kesesuaian

Keywords:

generator
X-Ray Machine
tube X-Ray
compliance test

Penulis Korespondensi:

Novelia Tohiri
Email: noveliatohiri82@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang uji kesesuaian kinerja generator dan tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas menggunakan detektor *RaySafe X2 R/F Sensor* dan *RaySafe X2 Survey Sensor*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur parameter-parameter uji kesesuaian generator dan tabung kemudian menganalisis hasil yang didapatkan dengan membandingkan nilai lolos uji berdasarkan Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018. Parameter yang diuji yaitu akurasi tegangan, akurasi waktu penyinaran, linearitas keluaran radiasi, reproduksibilitas, kualitas berkas sinar-X, dan kebocoran tabung. Hasil yang didapatkan yaitu persentase *error* maksimal untuk uji akurasi tegangan sebesar 0,67%, uji akurasi waktu penyinaran sebesar 1,4%, uji linearitas keluaran radiasi dengan nilai CL sebesar 22% untuk fokus besar dan 23,1% untuk fokus kecil, uji reproduksibilitas dengan nilai CV maksimal sebesar 0,000641, uji kualitas berkas sinar-X untuk tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, dan 90 kV dengan nilai HVL untuk masing-masing tegangan sebesar 1,93 mmAl, 2,36 mmAl, 2,74 mmAl, 3,16 mmAl, 3,54 mmAl, dan uji kebocoran tabung maksimal sebesar 0,069 mGy/jam. Hasil yang diperoleh yaitu generator dan tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* dalam kondisi andal dengan perbaikan mengacu kepada Perka Bapeten No 2 Tahun 2018.

Research has been carried out on the compliance test for the performance of the Siemens X-ray tube and generator at the Radiology Installation of the Andalas University Hospital using RaySafe X2 R/F Sensors and RaySafe X2 Survey Sensor. The purpose of this study was to measure the parameters of the compliance test of the Siemens generator and X-ray tube then analyze the results obtained by comparing the test pass values based on BAPETEN Regulation No 2 of 2018. The parameters tested in this study are voltage accuracy, irradiation time accuracy, radiation output linearity, reproducibility, X-ray beam quality, and tube leakage. The results obtained are the maximum error percentage for voltage accuracy test of 0.67%, irradiation time accuracy test by 1.4%, the radiation output linearity test with a CL value of 22% for a large focus and 23.1% for a small focus, a reproducibility test with a maximum CV value of 0.000641, an X-ray beam quality test for a voltage of 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, and 90 kV with HVL values for each voltage is 1.93 mmAl, 2.36 mmAl, 2.74 mmAl, 3.16 mmAl, 3.54 mmAl, and a maximum tube leak test of 0.069 mGy/hours. The results obtained are the Siemens generator and X-ray tube in andal condition with repair referring to Perka BAPETEN No 2 of 2018.

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi pengion, khususnya sinar-X, pada pengambilan citra gambar (radiografi) sangat membantu dokter dalam menegakkan diagnosis penyakit pasien. Hasil dari radiografi dapat memberikan citra yang mampu menunjukkan keadaan tubuh bagian dalam yang dapat menunjang perencanaan pengobatan bagi pasien dengan lebih akurat, tepat dan optimal. Rumah Sakit Universitas Andalas memiliki pesawat sinar-X merek *Siemens* yang digunakan untuk menghasilkan citra radiografi. Dalam menjamin diperolehnya hasil radiograf dan kinerja pesawat sinar-X yang optimal dengan dosis radiasi yang aman bagi masyarakat pengguna, terutama pasien dan pekerja radiasi maka perlu dilakukan uji kesesuaian pada pesawat sinar-X yang dilakukan pada jangka waktu tertentu.

Uji kesesuaian pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional yang selanjutnya disebut uji kesesuaian adalah serangkaian kegiatan pengujian untuk memastikan pesawat sinar-X dalam kondisi andal dan memastikan pesawat sinar-X tersebut memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan memberikan informasi diagnostik yang tepat dan akurat. Pengukuran pada uji kesesuaian diharapkan memberikan estimasi terbaik terhadap parameter uji kesesuaian. Hasil pengujian harus memenuhi suatu standar atau batas toleransi tertentu agar menjadi pedoman bagi pemilik fasilitas untuk mengambil tindakan yang terbaik seperti perbaikan peralatan atau mengganti dengan pesawat yang baru (BAPETEN, 2018).

Penelitian tentang uji kesesuaian telah dilakukan oleh Chirsnia dkk. (2013) pada pesawat sinar-X *CT-Scan* merek *Philips Briliance 6* menggunakan detektor *Unfors-Xi Set* yang dapat mengukur dosis CTDI dan tegangan tabung pesawat sinar-X. Parameter uji yaitu akurasi tegangan, akurasi keluaran radiasi, linearitas keluaran radiasi, kualitas berkas sinar-X, posisi meja pemeriksaan, laser penanda, dan kesesuaian dosis radiasi pasien. Hasil yang diperoleh yaitu pesawat *CT-Scan* merek *Philips Briliance 6* dalam kondisi andal dengan perbaikan.

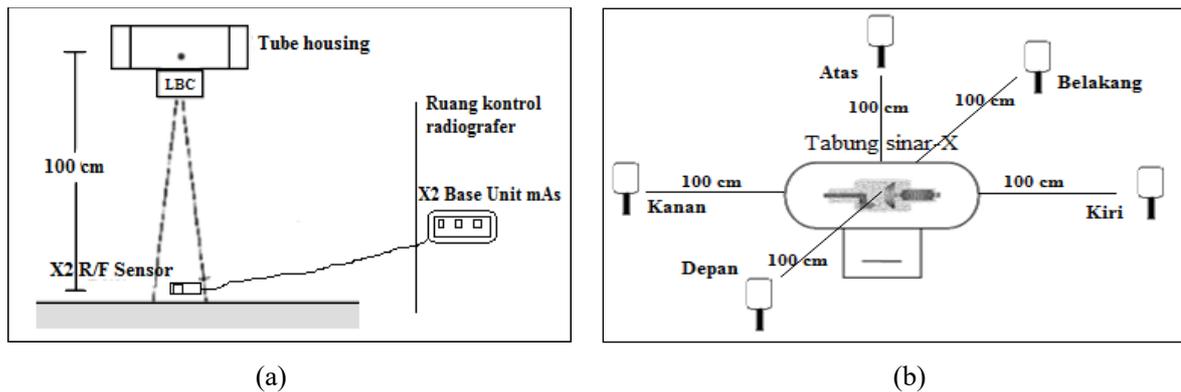
Pengukuran lain dilakukan oleh Susanti dkk. (2017) pada pesawat sinar-X fluoroskopi intervensional merek *Philips Allura FC* menggunakan detektor *Unfors Raysafe X2* yang terdiri dari *X2 R/F Detector Platinum* untuk mengukur akurasi tegangan, waktu, laju dosis dan kualitas berkas sinar-X, *X2 Survey Platinum* untuk mengukur laju kebocoran tabung sinar-X, dan *X2 Base Unit Platinum* untuk menampilkan nilai yang terukur oleh detektor. Hasil yang diperoleh yaitu pesawat fluoroskopi intervensional merek *Philips Allura FC* dalam kondisi andal. Kareem dkk. (2017) melakukan pengukuran kebocoran tabung, kualitas berkas sinar-X, reproduksibilitas tegangan, akurasi tegangan dan waktu, serta uji kolimator pada pesawat sinar-X merek *Toshiba* menggunakan *Surveymeter Fluke*, *Accu-Pro Diagnostic Ion Chamber*, *kV Sensor*, dan *Beam Alignment Test Tools*. Semua pengujian yang dilakukan oleh Kareem dkk. (2017) memenuhi persyaratan standar dan spesifikasi pabrik. Hasil yang diperoleh yaitu pesawat sinar-X merek *Toshiba* dinyatakan dalam kondisi andal.

Pada penelitian ini dilakukan uji kesesuaian kinerja generator dan tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* yang terdapat di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. Generator dan tabung merupakan komponen utama pada pesawat sinar-X yang menentukan kualitas citra dan kuantitas dosis radiasi yang dihasilkan. Uji kesesuaian kinerja generator dan tabung dilakukan untuk enam parameter uji yaitu akurasi tegangan, akurasi waktu penyinaran, linearitas keluaran radiasi, reproduksibilitas, kualitas berkas sinar-X dan kebocoran tabung menggunakan *RaySafe X2 R/F Sensor* dan *RaySafe X2 Survey Sensor* kemudian menganalisis hasil yang didapatkan dengan membandingkan nilai lolos uji berdasarkan Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018.

II. METODE

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian adalah pesawat sinar-X merek *Siemens* sebagai pesawat sinar-X yang akan diuji. Detektor *RaySafe X2 R/F Sensor* untuk uji akurasi tegangan, akurasi waktu penyinaran, linearitas keluaran radiasi, reproduksibilitas, dan kualitas berkas sinar-X. Detektor *RaySafe X2 Survey Sensor* untuk mengukur kebocoran tabung. Nilai besaran yang terukur oleh detektor ditampilkan pada layar *RaySafe X2 Base Unit mAs*. Posisi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1 (KEMENKES, 2009).



Gambar 1 Posisi pengukuran: (a) uji akurasi tegangan, uji akurasi waktu penyinaran, uji linearitas keluaran radiasi, uji reproduksibilitas, dan uji kualitas berkas sinar-X; (b) uji kebocoran tabung

2.2 Pengaturan Faktor Eksposi

2.2.1 Uji akurasi tegangan

Pengukuran dilakukan pada arus dan waktu penyinaran konstan yaitu 200 mA dan 0,1 s untuk variasi tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV, 81 kV, dan 90 kV. Persentase *error* penyimpangan akurasi tegangan dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\%error = \left| \frac{kVp_{ukur} - kVp_{set}}{kVp_{set}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

dengan kVp_{ukur} adalah tegangan tabung sinar-X yang terukur dan kVp_{set} adalah tegangan yang diatur pada kontrol panel.

2.2.2 Uji akurasi waktu penyinaran

Pengukuran dilakukan pada tegangan dan arus konstan yaitu 70 kV dan 200 mA. Pengukuran diulangi untuk variasi waktu penyinaran 50 ms, 100 ms, 200 ms, 400 ms, dan 800 ms, persentase *error* penyimpangan akurasi waktu penyinaran dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$\%error = \left| \frac{waktu(ms)_{ukur} - waktu(ms)_{setting}}{waktu(ms)_{setting}} \right| \times 100\% \quad (2)$$

dengan $waktu(ms)_{ukur}$ adalah waktu penyinaran yang diukur pada tabung sinar-X dan $waktu(ms)_{setting}$ adalah waktu penyinaran yang diatur pada kontrol panel.

2.2.3 Uji linearitas keluaran radiasi

Pengukuran dilakukan pada tegangan, dan waktu penyinaran konstan yaitu 70 kV dan 0,1 s. Pengukuran diulangi untuk variasi arus pada fokus besar dan fokus kecil. Linearitas keluaran radiasi dinilai dengan menghitung koefisien linearitas (*CL-Coefficient of Linearity*) menggunakan Persamaan 3.

$$CL = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max} + X_{min}} \quad (3)$$

dengan CL adalah *Coefficient of Linearity*, X_{max} adalah paparan dosis radiasi maksimum, dan X_{min} adalah paparan dosis radiasi minimum.

2.2.4 Uji reproduksibilitas

Pengukuran dilakukan pada tegangan, waktu penyinaran, dan arus konstan, yaitu 70 kV, 0,1 s, 200 mA dan dilakukan sebanyak lima kali penyinaran. Reproduksiabilitas dinilai dengan menghitung koefisien variasi (*CV-Coefficient of Variation*) menggunakan Persamaan 4.

$$CV = \frac{SD}{\bar{X}} \quad (4)$$

dengan CV adalah *Coefficient of Variation*, SD adalah Standar Deviasi, dan \bar{X} adalah nilai rerata hasil pengukuran.

2.2.5 Uji kualitas berkas sinar-X

Uji kualitas berkas sinar-X dilakukan melalui uji lapisan tebal paruh (HVL-Half Value Layer). Pengukuran dilakukan untuk tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, dan 90 kV pada arus waktu 20 mAs. Nilai yang terbaca pada alat ukur adalah nilai tebal paruh (HVL) untuk filtrasi permanen dan filtrasi total pada pesawat sinar-X. Filtrasi total merupakan gabungan dari filter permanen dan filter tambahan. Filter permanen pada tabung memiliki ketebalan 1,5 mmAl dan filter tambahan memiliki ketebalan 1 mmAl.

2.2.6 Uji kebocoran tabung

Pengukuran dilakukan pada tegangan 102 kV dan arus 200 mA. Alat ukur menampilkan nilai laju kebocoran tabung maksimum (mGy/jam).

III. HASIL DAN DISKUSI

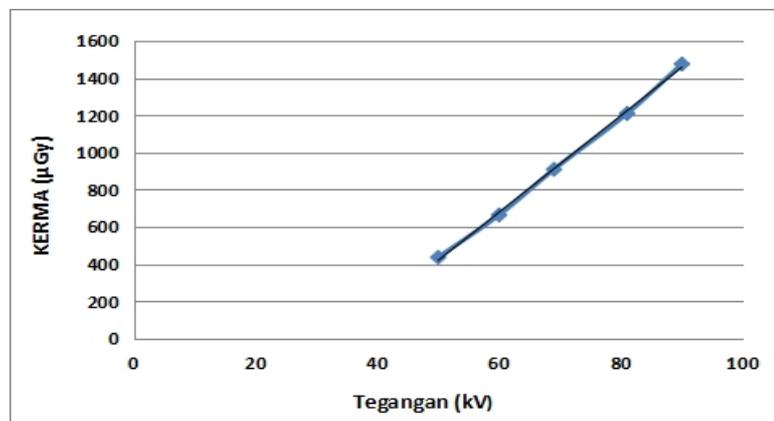
3.1 Uji Akurasi Tegangan

Hasil uji akurasi tegangan dapat dilihat pada Tabel 1 yang menampilkan kondisi penyinaran, hasil pengukuran, serta hasil perhitungan dari uji akurasi tegangan. Kondisi penyinaran merupakan pengaturan tegangan input (kVp-Setting) dan pengaturan arus waktu pada nilai 20 mAs. Hasil pengukuran menampilkan nilai tegangan terukur (kVp-Ukur) dan KERMA (μGy). Kinetic Energy Released per Unit Mass yang selanjutnya disebut KERMA adalah hasil bagi jumlah energi kinetik awal dari semua partikel pengion bermuatan pada suatu bahan dengan massa (BAPETEN, 2014).

Tabel 1 Hasil pengukuran uji akurasi tegangan

Kondisi penyinaran		Hasil pengukuran		Hasil perhitungan	
mAs-Setting (mAs)	kVp-Setting (kV)	kVp-Ukur (kV)	KERMA (μGy)	error (%)	Lolos uji, Ya/Tidak?
20	50	50,0	436,0	0	Ya
	60	60,4	663,8	0,67	Ya
	70	69,8	908,4	0,29	Ya
	81	81,2	1209	0,25	Ya
	90	90,5	1475	0,56	Ya

Berdasarkan Tabel 1 persentase error penyimpangan uji akurasi tegangan pesawat sinar-X merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas menurut Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018 masih berada dalam batas yang diperbolehkan yaitu $\leq 10\%$. Hubungan antara tegangan tabung dengan KERMA dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan antara tegangan (kV) dengan dosis radiasi (KERMA) yang dihasilkan pada pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan nilai dosis radiasi (KERMA) yang dihasilkan sebanding dengan kenaikan nilai tegangan.

3.2 Uji Akurasi Waktu Penyinaran

Hasil uji akurasi waktu penyinaran dapat dilihat pada Tabel 2 yang menampilkan informasi kondisi penyinaran dengan variasi waktu (ms-Setting) yang dilakukan pada tegangan 70 kV dan arus 200 mA. Hasil pengukuran menampilkan nilai waktu terukur (ms-Ukur) dan KERMA (μGy).

Tabel 2 Hasil pengukuran uji akurasi waktu penyinaran

Kondisi Penyinaran			Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan	
kVp-set (kV)	mA-Setting (mA)	ms-Setting (ms)	ms-Ukur (ms)	KERMA (μGy)	error (%)	Lolos uji, Ya/Tidak
70	200	50	49,3	451,8	1,4	Ya
		100	99,2	909,5	0,8	Ya
		200	198,8	1822	0,6	Ya
		400	398,1	3649	0,48	Ya
		800	796,4	7304	0,45	Ya

Berdasarkan Tabel 2 persentase *error* penyimpangan uji akurasi waktu penyinaran pada pesawat sinar-X merek *Siemens* masih dalam batas yang diperbolehkan oleh BAPETEN. BAPETEN menetapkan bahwa penyimpangan maksimum yang diperbolehkan untuk uji akurasi waktu penyinaran adalah 10% (BAPETEN, 2018). Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa semakin lama penyinaran sinar-X dilakukan maka dosis radiasi (KERMA) juga meningkat.

3.3 Uji Linearitas Keluaran Radiasi

Data hasil uji linearitas keluaran radiasi untuk fokus besar dan fokus kecil pada pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil perhitungan koefisien linearitas (CL- *Coefficient of Linearity*) pada fokus kecil

mA-Setting (mA)	kVp-Ukur (kV)	ms-Ukur (ms)	Kerma (mGy)	Laju KERMA per mA (mGy/mAs)	CL	Lolos uji, Ya/Tidak
50	69,8	99,0	0,7254	0,1465	CL = 0,231 = 23,1%	Tidak
100	69,7	99,1	0,908	0,0916		
160	69,9	99,3	1,455	0,0916		

Tabel 4 Hasil perhitungan koefisien linearitas (CL- *Coefficient of Linearity*) pada fokus besar

mA-Setting (mA)	kVp-Ukur (kV)	ms-Ukur (ms)	Kerma (mGy)	Laju Kema per mA (mGy/mAs)	CL	Lolos uji, Ya/Tidak
160	69,8	98,9	0,2278	0,0144	CL= 0,22 = 22 %	Tidak
200		98,8	0,4483	0,0227		
320		99,0	0,718	0,0229		

Berdasarkan Tabel 3 dan Tabel 4 koefisien linearitas pada fokus kecil sebesar 0,231 atau 23,1 % dan koefisien linearitas pada fokus besar sebesar 0,22 atau 22 %. Nilai koefisien linearitas yang didapatkan tidak memenuhi standar karena melebihi nilai yang telah ditetapkan oleh BAPETEN. Berdasarkan Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018 koefisien linearitas lolos uji jika $\leq 10\%$. Koefisien linearitas menggambarkan hubungan antara dosis keluaran radiasi dengan arus dan waktu (mAs). Nilai CL yang besar diakibatkan adanya penyimpangan nilai pada arus (mA) rendah. Pada penggunaan arus 50 mA, laju dosis radiasi yang dihasilkan lebih tinggi dari laju dosis radiasi menggunakan arus 100 mA dan 160 mA sehingga perbedaan antara $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ antara nilai mA terendah dan tertinggi memiliki *error* mencapai 23,1%. Sedangkan untuk fokus besar, laju dosis pada arus 160 mA lebih rendah dibandingkan laju dosis pada arus 200 mA dan 320 mA, sehingga CL pada fokus besar memiliki *error* 22% melebihi nilai yang direkomendasikan.

Koefisien linearitas menggambarkan konsistensi arus tabung dalam menghasilkan laju dosis radiasi melalui jumlah elektron yang menumbuk anoda. Tidak terpenuhinya nilai linearitas menunjukkan telah terjadi ketidak-konsistenan pada arus tabung pesawat sinar-X merek Siemens yang terdapat di Rumah Sakit Universitas Andalas. Uji linearitas tidak mutlak langsung menjadi acuan peraturan pemerintah apakah pesawat radiografi tersebut masih baik atau tidak. Karena berdasarkan Perka BAPETEN No 2 tahun 2018 pesawat masih tetap dikatakan andal meskipun parameter uji linearitas keluaran radiasi tidak memenuhi batas uji akan tetapi pesawat tersebut dikategorikan andal dengan perbaikan.

3.4 Uji Reproduksibilitas

Uji Reproduksibilitas dinilai dengan menghitung koefisien variasi (*CV-Coefficient of Variation*). Hasil perhitungan koefisien variasi untuk tegangan puncak, waktu penyinaran, dan dosis radiasi pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil perhitungan koefisien variasi (*CV- Coefficient of Variation*) pada uji reproduksibilitas

Kondisi Panel			Hasil Pengukuran		
Tegangan (kV)	Arus (mA)	Waktu (ms)	Tegangan terukur (kV)	Waktu terukur (ms)	Dosis radiasi (µGy)
70	200	100	69,8	99,1	908,2
			69,8	99,2	908,8
			69,7	99,1	907,7
			69,8	99,2	908,6
			69,8	99,1	908,5
Rerata			69,78	99,14	908,36
Standar Deviasi (%)			0,044721	0,054772	0,427785
Koefisien Variasi (CV)			0,000641	0,000552	0,000471
Lolos uji, Ya/Tidak			Ya	Ya	Ya

Nilai koefisien variasi (CV) pada uji reproduksibilitas pesawat sinar-X merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas masih di bawah toleransi Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018 yaitu $\leq 0,05$. Kondisi ini menunjukkan bahwa pesawat sinar-X merek Siemens masih dalam keadaan baik untuk melakukan pengulangan sehingga keluaran tegangan, waktu penyinaran, dan dosis radiasi dari pesawat tersebut masih konstan.

3.5 Uji Kualitas Berkas Sinar-X

Hasil uji kualitas berkas sinar-X pada pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil uji kualitas berkas sinar-X melalui uji HVL

kVp-set	HVL (mm Al) (Filter Permanen)	HVL Total Filter (mm Al TF) (Filter Permanen + Filter tambahan)	Lolos uji, Ya/Tidak
50	1,93	3,1	Ya
60	2,36	3,1	Ya
70	2,74	3,1	Ya
80	3,16	3,1	Ya
90	3,54	3,1	Ya

Tabel 6 menunjukan nilai HVL yang terukur pada pesawat sinar-X merek *Siemens* melebihi nilai minimum yang telah ditetapkan oleh BAPETEN yaitu $\geq 2,1$ mmAL untuk tegangan 70 kV, $\geq 2,3$ mmAL untuk tegangan 80 kV dan $\geq 2,5$ mmAL untuk tegangan 90 kV. Pengukuran kualitas berkas sinar-X pada tegangan 50 kV dan 60 kV tidak terdapat pada Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018, namun ada pada standar *International Code Of Federal Regulation, 2007*) yaitu $\geq 1,2$ mmAL untuk tegangan 50 kV dan $\geq 1,3$ mmAL untuk tegangan 60 kV. Nilai HVL dari filtrasi permanen dan filtrasi total pesawat sinar-X merek *Siemens* yang terdapat di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas ini memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018. Pada penggunaan filter permanen, kenaikan nilai tegangan tabung mengakibatkan kenaikan nilai HVL terukur. Kenaikan nilai HVL dapat disebabkan oleh kenaikan nilai tegangan dan bertambahnya ketebalan filter yang

digunakan (Susanti dkk., 2017). Kenaikan nilai HVL juga dapat disebabkan oleh kenaikan nilai arus yang digunakan untuk penyinaran (Artitin dkk., 2015).

3.6 Uji Kebocoran Tabung

Hasil pengukuran kebocoran tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* dari tiap-tiap titik menunjukkan nilai yang beragam yang ditunjukkan pada Tabel 7. Setiap titik atau posisi pengukuran dikategorikan aman dan tidak membahayakan karena masih di bawah nilai lolos uji yang diperkenankan oleh BAPETEN, yaitu laju kebocoran tabung yang diperbolehkan ≤ 1 mGy/jam.

Tabel 7 Hasil uji kebocoran tabung

Posisi	Laju kebocoran tabung (mGy/jam)	Lolos uji, Ya/Tidak?
Kanan	0,0006	Ya
Depan	0,0054	Ya
Kiri	0,0063	Ya
Atas	0,0374	Ya
Belakang	0,069	Ya

IV. KESIMPULAN

Hasil uji kesesuaian kinerja generator dan tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas yaitu persentase *error* maksimal untuk uji akurasi tegangan sebesar 0,67%, uji akurasi waktu penyinaran sebesar 1,4%, uji linearitas keluaran radiasi dengan nilai CL sebesar 22% untuk fokus besar dan 23,1% untuk fokus kecil, uji reproduksibilitas dengan nilai CV maksimal sebesar 0,000641, uji kualitas berkas sinar-X untuk tegangan 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, dan 90 kV dengan nilai HVL untuk masing-masing tegangan sebesar 1,93 mmAl, 2,36 mmAl, 2,74 mmAl, 3,16 mmAl, 3,54 mmAl, dan uji kebocoran tabung maksimal sebesar 0,069 mGy/jam. Secara umum generator dan tabung pesawat sinar-X merek *Siemens* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas masih berfungsi dengan baik dan dikategorikan andal dengan perbaikan karena salah satu uji yaitu uji linearitas keluaran radiasi memiliki nilai yang melebihi batas toleransi yang telah ditetapkan mengacu kepada Perka BAPETEN No 2 Tahun 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Artitin, C., Suryono, dan Setiawati, E., Penentuan Nilai Tebal Paruh (HVL) Pada Citra Digital Computed Radiography, *Youngster Physics Journal*, 4 (1), hal. 55-59, 2015.
- Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 15 Tahun 2014 Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Produksi Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, <<https://jdih.bapeten.go.id>>, diakses pada Juni 2021.
- Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, <<https://jdih.bapeten.go.id>>, diakses pada Juni 2021.
- Chirsnia, I., Milvita, D., Prasetyo, H., dan Yuliaty, H., Uji Kesesuaian Pesawat CT-Scan Merek Philips Brilliance 6 Dengan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 9 Tahun 2011, *Jurnal Fisika Unand*, 2, hal. 120-127, 2013.
- International Code Of Federal Regulations, Radiological Health, <<https://www.archives.go.id>>, diakses 30 Juli 2021.
- Kareem, A. A., Hulugalle, dan Al-Hamdani, H. K., A Quality Control Test for General X-Ray Machine, *World Scientific News Journal*, 90, hal. 11-30, 2017.
- Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tahun 2009 Tentang Pedoman Kendali Mutu Peralatan Radiodiagnostik, <<https://persi.or.id>>, diakses pada Juni 2021.
- Susanti, R., Milvita, D., dan Sandy, K. Y. P., Uji Kesesuaian Pesawat Fluoroskopi Merek Philips Allura FC Menggunakan Detektor Unfors X2 di Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika unand*, 6 (3), hal. 232-239, 2017.