

UJI KESESUAIAN KOLIMASI BERKAS SINAR-X PADA PESAWAT RADIOLOGI SINAR-X DI LABORATORIUM UNIVERSITAS 'AISYIYAH YOGYAKARTA

Anggitama Dzaki Imtiyaz¹, Anisa Nur Istiqomah², Lutfiana Desy³

anggitama3604@gmail.com¹, anisa.nur@unisayogya.ac.id², lutfianadesy92@gmail.com³

Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta¹, RSUD Sleman³

ABSTRAK

Uji kesesuaian kolimator sinar-x merupakan jaminan mutu untuk mengetahui kelayakan kolimator sebuah pesawat sinar-x. Pengujian kolimasi berkas sinar-x berupa uji iluminasi lampu kolimator, uji selisih lapangan kolimasi berkas sinar-x, dan uji ketegaklurusan berkas sinar-x. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil uji kesesuaian kolimasi berkas sinar-x pesawat radiologi di Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pengukuran. Penelitian dilakukan di laboratorium radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta pada tanggal 8 September 2025. Hasil uji iluminasi menunjukkan nilai 336,43 lux untuk pesawat radiologi mobile dan 157,58 lux untuk pesawat radiologi stasioner, melewati batas toleransi oleh BAPETEN yaitu ≥ 100 lux. Pengujian selisih lapangan kolimasi menghasilkan nilai sumbu X 0,66 cm dan sumbu Y 0,46 cm untuk pesawat radiologi mobile dan nilai sumbu X 0,42 cm dan sumbu Y 1,11 cm untuk pesawat radiologi stasioner. Kedua pesawat memenuhi toleransi $\leq 2\%$ FFD dari BAPETEN. Kedua pesawat menunjukkan hasil yang sama pada uji ketegaklurusan dengan penyudutan berkas sinar-x bernilai $\sim 1,5^\circ$ sehingga memenuhi toleransi penyudutan yaitu $\leq 3^\circ$. Ketiga pengujian telah memenuhi standar dari Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022.

Kata Kunci: Jaminan Mutu, Uji Kolimasi, BAPETEN.

PENDAHULUAN

Pesawat sinar-x merupakan teknologi penunjang dalam bidang kesehatan. Pesawat sinar-x memiliki fungsi membantu diagnosa dengan cara memancarkan sinar-x yang akan melewati objek yang diperiksa, energi yang tersisa kemudian ditangkap oleh film dan membentuk sebuah citra [1]. Pesawat sinar-x terdiri dari beberapa bagian penting seperti generator, tabung sinar-x, dan kolimator [2].

Kolimator merupakan bagian dari pesawat sinar-x yang berfungsi sebagai pembatas agar radiasi yang dikeluarkan hanya terfokus pada objek yang diperiksa sehingga menghindari paparan pada sel sekitar yang tidak memerlukannya. Kolimator juga berfungsi mengurangi radiasi hambur sehingga meningkatkan kontras pada citra. Kolimator terdiri dari beberapa komponen utama seperti lampu kolimasi, cermin, filter, dan pelat pembatas [2].

Pesawat sinar-x memerlukan pengujian untuk memastikan keselamatan radiasi bagi pasien, pekerja radiasi, dan masyarakat [3]. Uji kesesuaian pesawat sinar-x terdiri dari tiga parameter utama yaitu kolimasi berkas sinar-x, generator dan tabung sinar-x, dan automatic exposure control (AEC). Uji kolimasi berkas sinar-x merupakan sebuah pengukuran pada bagian kolimator pesawat sinar-x yang mengukur tentang kecerahan lampu, selisih keluaran sinar dengan lapangan kolimasi, dan ketegaklurusan berkas sinar-x. Menurut BAPETEN [3], uji kesesuaian pesawat sinar-x kategori umum rutin dilaksanakan minimal selama 4 tahun sekali.

Penelitian terdahulu telah menghasilkan beberapa kesimpulan serta hasil dengan berbagai metode serta eksperimen dalam pengujian kesesuaian kolimasi berkas sinar-x. Putra [1] telah menyimpulkan bahwa variasi jarak FFD dapat mempengaruhi nilai iluminasi

lampu kolimator dengan jarak FFD yang semakin tinggi menyebabkan rendahnya nilai iluminasi. Artitin [4] dalam penelitiannya tentang pengaruh FFD terhadap kesamaan berkas kolimator menemukan bahwa semakin besar jarak FFD yang digunakan, akan semakin besar simpangan pada nilai uji. Pengujian pada tipe pesawat konvensional telah dilakukan oleh Marcellino [5] dengan hasil bahwa pesawat telah memenuhi standar Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009.

Laboratorium radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta memiliki 2 pesawat sinar-x yang masih baik digunakan yaitu pesawat sinar-x mobile dengan merek Biomedical International dan pesawat sinar-x stasioner dengan merek Samsung. Pada pesawat sinar-x mobile, uji kesesuaian terakhir dilakukan pada tahun 2020 dan untuk pesawat sinar-x stasioner dilakukan tahun 2024. Hal ini tidak memenuhi regulasi BAPETEN yang menyatakan bahwa uji kesesuaian pesawat sinar-x radiografi kategori umum wajib dilakukan paling lama 4 tahun sekali dan regulasi PERMENKES yang menyatakan alat kesehatan wajib melakukan kalibrasi 1 tahun sekali. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil uji kesesuaian kolimasi berkas sinar-x pesawat radiologi sinar-x di laboratorium radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan pengukuran. Penelitian dilakukan di laboratorium radiologi mobile Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta pada tanggal 8 September 2025. Pesawat yang diuji merupakan pesawat radiologi mobile dengan merek Biomedical International BMX-AR 30 dengan spesifikasi tabung sinar-x tipe X-22 dengan arus maksimal 500 mA dan tegangan maksimal 125 kVp. Sebagai pembanding, digunakan pesawat sinar-x stasioner dengan merek Samsung XGEO GF50 dengan spesifikasi tabung sinar-x model Toshiba E752X dengan arus maksimal 320 mA dan tegangan maksimal 150 kV. Pesawat stasioner tersebut telah dilaksanakan uji kesesuaian pada tahun 2024.

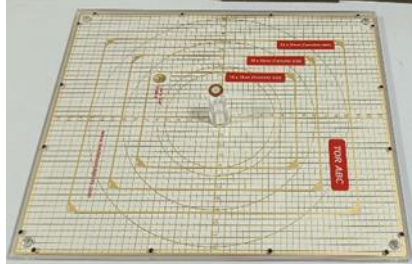
Dalam melakukan uji iluminasi, digunakan alat luxmeter Raysafe X2 Light yang telah dikalibrasi pada bulan Maret 2025. Pengukuran iluminasi dilakukan dengan mengatur jarak FFD setinggi 100 cm dan lapangan kolimasi seluas 25×25 cm. Lampu ruangan diturunkan hingga gelap dengan cara mematikan lampu serta menutup pintu pemeriksaan. Pengukuran pertama adalah pengukuran cahaya latar dengan meletakkan luxmeter pada pertengahan titik bidik kolimasi pada saat lampu kolimator tidak dinyalakan. Setelahnya, nyalakan lampu kolimasi diikuti dengan membagi lapangan kolimasi menjadi 4 kuadran dengan luas area yang sama. Pengukuran iluminasi dilakukan pada setiap kuadran sebanyak 3 kali.



Gambar 1. Luxmeter Raysafe

Pengukuran selisih lapangan kolimasi berkas sinar-x dan ketegaklurusan berkas sinar-x dilakukan menggunakan collimator beam test tool TOR ABC serta modalitas pengambilan citra berupa computed radiography FCR. Collimator beam test tool diletakkan di atas kaset dalam posisi pertengahan cassette, collimator beam test tool, dan kolimator adalah paralel satu sama lain. FFD diatur pada jarak 100 cm dengan luas lapangan kolimasi diatur sesuai petunjuk pada alat. Pastikan tabung sinar-x maupun meja pemeriksaan pada keadaan sejajar

dengan menggunakan waterpass sebagai pedoman. Tepi lapangan cahaya diatur dengan cara menyesuaikan luas lapangan kolimasi dengan luas pada collimator beam test tool yang kemudian diukur kembali pada setiap sumbu menggunakan meteran untuk memastikan tepi lapangan kolimasi sesuai. Lakukan eksposi dengan pengaturan faktor eksposi 50 kV dan 4 mAs. Hasil citra yang didapat kemudian dilakukan pengukuran tepi lapangan sinar-x dengan cara menghitung jarak dari garis tengah citra hingga garis tegas terluar citra. Untuk mengukur ketegaklurusan berkas sinar-x, lakukan perbandingan visual pada dua buah lingkaran di tengah citra dengan buku pedoman penggunaan alat.



Gambar 2. Collimator beam test tool TOR ABC

Data yang dikumpulkan akan diolah dan kemudian dibandingkan dengan standar oleh Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 untuk menentukan kelayakannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian iluminasi lampu kolimator.

Pada uji iluminasi lampu kolimator, FFD diatur setinggi 100 cm dengan lapangan kolimasi seluas 25×25 cm. Selanjutnya, bagi daerah lapangan kolimasi menjadi 4 kuadran sama rata. Setelah terbagi 4 kuadran, dilakukan pengukuran cahaya latar dengan cara luxmeter diletakkan pada bagian tengah titik bidik kolimasi dengan kondisi lampu kolimator mati. Luxmeter menunjukkan hasil ‘-’ yang diasumsikan bernilai 0 lux. Kemudian lampu kolimator dinyalakan dan dilakukan pengukuran pada tiap kuadran sebanyak 3 kali. Pengukuran iluminasi bisa terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pengujian iluminasi.

Setelah diukur, hasil setiap kuadran kemudian dirata-rata dan dikurangi cahaya latar. Hasil yang didapat ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji iluminasi lampu kolimator pesawat mobile

Titik ukur	Pengukuran (Lux)	Rerata (Lux)	Cahaya latar (Lux)	Hasil Uji (Lux)	Nilai lolos uji
Area 1	335,50	336,43	0	336,43	≥ 100 lux
Area 2	334,60				
Area 3	336,30				
Area 4	339,30				

Pada pesawat stasioner, pengujian dilakukan menggunakan langkah yang sama seperti yang dilakukan pada pesawat sinar-x mobile. Hasil yang didapat ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil uji iluminasi lampu kolimator pesawat stasioner

Titik ukur	Pengukuran (Lux)	Rerata (Lux)	Cahaya latar (Lux)	Hasil Uji (Lux)	Nilai lolos uji
Area 1	171,00	157,58	0	157,58	≥ 100 lux
Area 2	157,00				
Area 3	161,00				
Area 4	141,33				

Didapatkan hasil rerata lux pada pesawat mobile bernilai 336,43 lux dan pesawat stasioner 157,58 lux. Kedua pesawat memiliki nilai uji ≥ 100 lux.

PERKA BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022 mengatur bahwa iluminasi lampu kolimator dikatakan Andal apabila memiliki nilai ≥ 100 lux. Sehingga hasil uji iluminasi lampu kolimator pesawat radiologi sinar-x di laboratorium Universitas ‘Aisyiyah Yogyakarta sudah memenuhi batas toleransi dari BAPETEN.

Pengujian selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x

Modalitas yang digunakan dalam pengujian selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x berupa computed radiography (CR) dengan casette berukuran 24×30 cm. Alat ukur collimator beam test tool kemudian diletakkan di atas casette dan disejajarkan pada setiap sumbunya. FFD diatur pada ketinggian 100 cm. Setelahnya, casette kemudian diletakkan pada pertengahan lapangan kolimasi dengan keempat sumbu sejajar sinar bidik. Luas lapangan kolimasi diatur sehingga sesuai dengan petunjuk pada collimator beam test tool.

Meja pemeriksaan mobile pada laboratorium radiologi Universitas ‘Aisyiyah Yogyakarta tidak dalam kondisi sejajar. Untuk mengatasinya, digunakan 2 buah softbag sebagai permukaan dari IR dan diatur sehingga IR dalam keadaan sejajar. Hasil IR yang sejajar ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pengukuran kesejajaran IR meja mobile

Meja pemeriksaan pada pesawat stasioner berada pada kondisi sejajar sehingga IR cukup diletakkan dan tidak menggunakan softbag sebagai alas seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengukuran kesejajaran IR meja stasioner

Saat diatur dalam posisi vertikal, tabung sinar-x mobile tidak dalam posisi sejajar ketika diukur menggunakan waterpass. Posisi tabung sinar-x diatur dengan memperhatikan waterpass untuk memastikan kesejajaran tabung sinar-x. Hasil tabung yang sejajar dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Pengukuran kesejajaran tabung sinar-x mobile

Tabung pesawat sinar-x stasioner dalam posisi vertikal saat diukur menggunakan waterpass menunjukkan kesejajaran seperti terlihat pada gambar berikut.



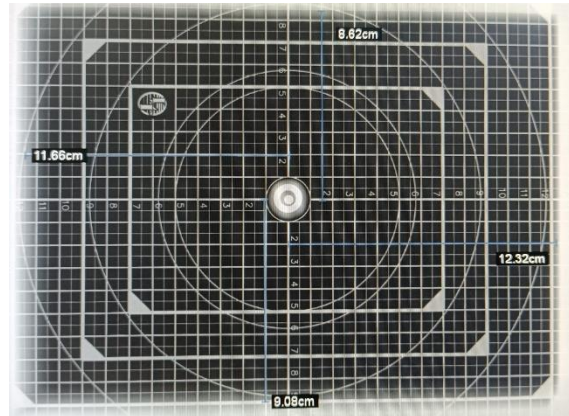
Gambar 7. Pengukuran kesejajaran tabung sinar-x stasioner

Pengaturan luas lapangan kolimasi disesuaikan dengan petunjuk pada collimator beam test tool. Pada collimator beam test tool, cassette ukuran 24×30 cm menggunakan luas lapangan kolimasi sehingga kedua sumbu x memiliki panjang 12 cm dari titik tengah alat dan kedua sumbu y memiliki jarak 9 cm dari titik tengah alat. Setelah lapangan kolimasi diatur sesuai petunjuk alat, lakukan pengukuran pada setiap sumbu untuk memastikan bahwa panjang tepi lapangan kolimasi sesuai dengan petunjuk alat. Pengaturan tepi lapangan cahaya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8. Pengaturan tepi lapangan cahaya.

Setelah lapangan kolimasi telah diatur, langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan citra. Faktor eksposi yang digunakan berupa 50 kV dan 4 mAs. Hasil citra yang telah didapat kemudian dilakukan pengukuran untuk mengetahui nilai tepi lapangan sinar-x pada masing-masing sumbu X dan Y. Nilai tepi lapangan sinar-x didapat dengan menggunakan fungsi measurement pada FCR. Pengukuran dilakukan dengan mengatur titik measurement FCR pada bagian tengah collimator beam test tool dan pada bagian terluar garis tegas collimator beam test tool pada salah satu sumbu. Kedua titik akan secara otomatis menampilkan nilai panjang yang didapat. Hasil measurement dapat terlihat pada gambar 9.



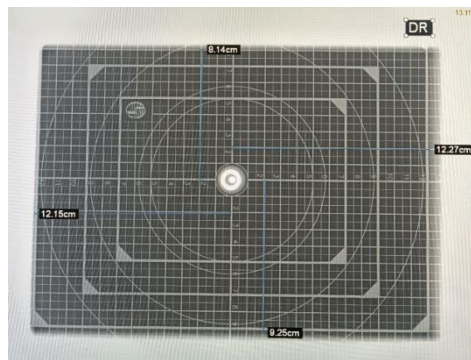
Gambar 9. Hasil citra uji selisih berkas sinar pesawat mobile.

Untuk menentukan nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x, hitung selisih tepi lapangan cahaya dengan tepi lapangan sinar-x pada masing-masing sumbu. Kemudian, jumlahkan nilai selisih tersebut dengan pasangan sumbunya. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil uji selisih lapangan kolimasi pesawat mobile

Titik ukur	Tepi lap. cahaya (cm)	Tepi lap. sinar-X (cm)	$ \Delta_1 + \Delta_2 $ (% SID)	$\Delta X + \Delta Y$ (% SID)	Nilai lolos uji
X_1	12	11,66	0,66	1,12	$\Delta X \leq 2\%$ SID, $\Delta Y \leq 2\%$ SID
X_2	12	12,32			
Y_1	9	8,62	0,46		
Y_2	9	9,08			

Dilakukan juga pengujian yang sama pada pesawat sinar-x stasioner dengan hasil seperti berikut.



Gambar 10. Hasil citra uji selisih berkas sinar pesawat stasioner.

Tabel 4. Hasil uji selisih lapangan kolimasi

Titik ukur	Tepi lap. cahaya (cm)	Tepi lap. sinar-X (cm)	$ \Delta_1 + \Delta_2 $ (% SID)	$\Delta X + \Delta Y$ (% SID)	Nilai lolos uji
X_1	12	12,15	0,42	1,53	$\Delta X \leq 2\%$ SID, $\Delta Y \leq 2\%$ SID
X_2	12	12,27			
Y_1	9	8,14	1,11		
Y_2	9	9,25			

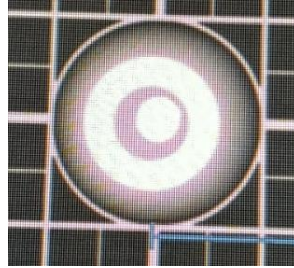
Nilai yang didapat dalam perhitungan uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x pada pesawat mobile adalah ΔX sebesar 0,66 cm dan ΔY sebesar 0,46 cm. Pada pesawat stasioner, nilai yang didapat adalah ΔX sebesar 0,42 cm dan ΔY sebesar 1,11 cm.

Menurut PERKA BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022, nilai lolos uji untuk masing-masing sumbu yaitu ΔX dan ΔY adalah $\leq 2\% \text{ FFD}$, atau dalam hal ini berarti $\leq 2 \text{ cm}$.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x pada pesawat mobile dan pesawat stasioner di laboratorium radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta telah memenuhi batas toleransi yang diatur oleh BAPETEN

Pengujian ketegaklurusan berkas sinar-x

Hasil citra dari pengujian selisih berkas sinar-x juga menunjukkan hasil untuk uji ketegaklurusan berkas sinar-x. Alat collimator beam test tool dengan merek TOR ABC sudah terpasang bersamaan dengan beam alignment tool. Hasil uji ketegaklurusan ditunjukkan pada gambar 11.



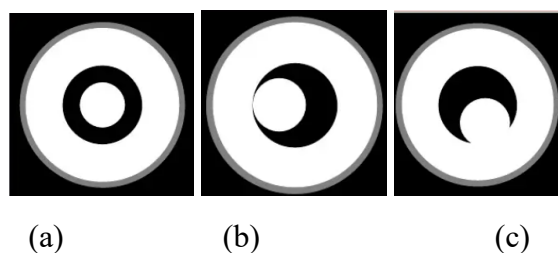
Gambar 11. Hasil uji ketegaklurusan berkas sinar-x pesawat mobile

Pengujian juga dilakukan pada pesawat stasioner. Dengan langkah yang sama, didapat hasil visual uji ketegaklurusan sinar-x sebagai berikut.



Gambar 12. Hasil uji ketegaklurusan berkas sinar-x pesawat stasioner

Hasil citra pada kedua pesawat menunjukkan bahwa ujung lingkaran tengah dalam posisi mendekati lingkaran luar. Menurut buku pedoman penggunaan alat oleh Leeds Test Objects Ltd [6](2020), apabila kedua lingkaran hampir bersentuhan maka nilainya adalah $\sim 1,5^\circ$ dan apabila kedua lingkaran bertumpuk pada sebagian ujungnya maka akan bernilai $\sim 3^\circ$. Gambar 13 menunjukkan visual hasil citra menurut pedoman penggunaan alat



Gambar 13. Petunjuk hasil uji ketegaklurusan berkas dengan: (a) nilai ketegaklurusan 0° ; (b) nilai ketegaklurusan $\sim 1,5^\circ$; (c) nilai ketegaklurusan $\sim 3^\circ$.

Setelah dilakukan perbandingan secara visual pada hasil uji dengan pedoman hasil, ditunjukkan bahwa ketegaklurusan pesawat mobile dan pesawat stasioner menyerupai gambar 13b. Sehingga hasil dari uji ketegakklurusan kedua pesawat adalah $\sim 1,5^\circ$ dan memenuhi standar toleransi oleh BAPETEN yaitu $\leq 3^\circ$.

Pembahasan

Uji iluminasi berkas sinar-x pada penelitian ini dilakukan dengan kondisi lampu ruangan yang dimatikan. Hal ini didasari pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250 Tahun 2009[7] yang menyatakan bahwa pengukuran iluminasi dilakukan pada ruangan dengan cahaya yang dikurangi sampai gelap.

Penggunaan FFD pada semua pengujian adalah 100 cm. Penggunaan FFD dengan jarak tersebut berhubungan dengan banyaknya pemeriksaan yang menggunakan FFD serupa. Menurut Bontrager [8], Penggunaan FFD 100 cm sudah lama dipraktikkan dan sudah menjadi kebiasaan pada hampir seluruh pemeriksaan radiografi bone skeletal.

Penelitian yang dilakukan Putra [1] menunjukkan bahwa jarak FFD mempengaruhi uji iluminasi dengan semakin besar jarak FFD yang digunakan, semakin kecil nilai iluminasi yang didapat. Pengaruh FFD juga terlihat pada uji selisih kolimasi berkas sinar-x, Artitin [4] menemukan dalam penelitiannya bahwa besar penggunaan FFD berbanding lurus dengan hasil penyimpangan selisih kolimasi berkas sinar-x.

Hasil uji ketegaklurusan sinar-x hanya menggunakan perbandingan visual dalam menentukan nilai penyudutan sinar-x. Hal ini merupakan pedoman dari produsen alat uji yang menyatakan bahwa alat collimator beam test tool TOR ABC telah didesain sehingga nilai maksimal yang didapat apabila kedua lingkaran sedikit bersentuhan adalah $1,5^\circ$ dan secara otomatis dinyatakan lolos uji [6]. Nilai tersebut sesuai dengan yang diungkapkan Trianni [9] bahwa nilai ideal dari uji ketegaklurusan berkas sinar-x adalah $1,5^\circ$ dengan batas toleransi 3° . Batas toleransi 3° juga merupakan nilai yang digunakan oleh BAPETEN[3].

Pesawat sinar-x mobile terakhir dilaksanakan uji kesesuaian pada tahun 2020, sedangkan pesawat sinar-x stasioner dilaksanakan uji kesesuaian pada tahun 2024 dan belum dilaksanakan kalibrasi kembali pada tahun 2025. Menurut Perka Bapeten No 2 Tahun 2022[3] uji kesesuaian dilaksanakan 4 tahun sekali dan berdasarkan Permenkes No 54 Tahun 2015[10] kalibrasi dilaksanakan setahun sekali.

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan, nilai hasil uji iluminasi pada pesawat mobile adalah 336,43 lux dan pada pesawat stasioner adalah 157,58 lux, melewati batas toleransi iluminasi dari BAPETEN yaitu ≥ 100 lux. Uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x menunjukkan bahwa pesawat mobile memiliki selisih sumbu X 0,66 cm dan sumbu Y 0,46 cm dengan pesawat stasioner menunjukkan nilai selisih sumbu X 0,42 cm dan sumbu Y 1,11 cm. Hasil uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x memenuhi batas toleransi dari BAPETEN yaitu $\leq 2\%$ FFD atau dalam hal ini ≤ 2 cm. Uji ketegaklurusan secara visual menghasilkan nilai $\sim 1,5^\circ$ pada kedua pesawat, memenuhi batas toleransi penyudutan BAPETEN $\leq 3^\circ$. Ketiga parameter uji pada kedua pesawat menunjukkan hasil positif.

KESIMPULAN

Pengujian kolimasi berkas sinar-x pada pesawat radiologi BMI BMX-AR 30 menunjukkan hasil positif. Ketiga pengujian telah memenuhi standar dari Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir nomor 2 Tahun 2022. Hasil uji iluminasi memiliki nilai 336,43 lux untuk pesawat sinar-x mobile dan 157,58 lux untuk pesawat sinar-x stasioner. Kedua pesawat memenuhi nilai minimum BAPETEN yaitu 100 lux. Pada pengujian selisih lapangan kolimasi berkas sinar-x pesawat mobile, nilai yang didapat pada sumbu X adalah 0,66 cm dengan nilai sumbu Y 0,46 cm. Untuk pesawat stasioner, hasil selisih dari sumbu X adalah 0,42 cm dan sumbu Y 1,11 cm. Kedua pesawat memenuhi nilai FFD $\leq 2\%$ yaitu 2 cm. Hasil uji ketegaklurusan berkas sinar-x pada kedua pesawat menunjukkan secara visual bahwa berkas sinar mengalami penyudutan $\sim 1,5^\circ$. Hal ini memenuhi batas maksimal toleransi kemiringan dari BAPETEN yakni 3° . Peneliti berharap pihak laboratorium radiologi Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta melakukan uji kesesuaian pada pesawat sinar-x secara berkala sesuai dengan PERKA BAPETEN Nomor 2 Tahun 2022 dan juga melaksanakan kalibrasi tahunan sesuai dengan Permenkes Nomor 54 Tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Trianni and N. Paruccini, Quality control of dynamic X-ray imaging systems: EFOMP protocol. 2024. [Online]. Available: <https://www.efomp.org/index.php?r=fc&id=protocols>
- BAPETEN, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2022 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. 2022. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-2-tahun-2018-tentang-uji-kesesuaian-pesawat-sinar-x-radiologi-diagnostik-dan-intervensional>
- C. Artitin, C. Nisa, O. P. Sari, and N. Anjarwati, “UJI KESAMAAN BERKAS KOLIMATOR DENGAN VARIASI JARAK FFD (FOCUS FILM DISTANCE) PADA PESAWAT SINAR-X,” *J. Kesehat. Saintika Meditory*, vol. 7, no. 2, 2024, doi: <https://dx.doi.org/10.30633/jsm.v7i2.2849>.
- I. P. G. A. D. Putra and I. W. B. Sudarsana, “Uji Illuminensi Lampu Kolimator Terhadap Pengaruh Variasi Focus Film Distance pada Pesawat Sinar-X Merk MIS di Laboratorium ATRO Bali,” *J. Surya Med.*, vol. 11, no. 2, pp. 125–129, 2025, doi: <https://doi.org/10.33084/jsm.v11i2.7639>.
- J. P. Lampignano and L. E. Kendrick, *Bontrager’s Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy*. Elsevier, 2018. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?id=SO_r_vQAACAAJ
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/Menkes/SK/XII/2009 tentang Pedoman Penyelenggaraan Promosi Kesehatan di Rumah Sakit. Indonesia, 2009.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 54 Tahun 2015 tentang Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan. 2015.
- Leeds Test Objects Ltd, TOR ABC user manual. 2020.
- N. Marcellino, N. N. Ratini, I. W. Balik Sudarsana, G. N. Sutapa, I. B. A. Paramarta, and I. G. A. Kasmawan, “Pengaruh Focus Film Distance (FFD) terhadap Nilai Uji Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner untuk Pemeriksaan Pasien,” *Kappa J.*, vol. 9, no. 1, pp. 49–57, Apr. 2025, doi: [10.29408/kpj.v9i1.28903](https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.28903).
- S. C. Bushong, *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection*. Elsevier Mosby, 2013. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=QlqQNAEACAAJ>