

UJI KOLIMASI BERKAS SINAR X RADIOLOGI DIAGNOSTIK MENGUNAKAN INDOSIEVERT COLLIMATOR TEST TOOLS

Deddy Rusdiana¹, Eko Sapto Aji²

Yayasan Pendidikan Manju Sidoarjo

Email: deddyrus@gmail.com¹, e.sapto@bapeten.go.id²

Abstract

Image quality in radiological testing greatly determines the effectiveness of the diagnosis, so that the management of the quality of X-ray machines is crucial. A quality assurance (QA) system that includes internal and external monitoring is needed to ensure optimal performance and patient safety. This study aims to evaluate the reliability of the Indosievert Collimator Test Tool as an affordable and standard local test device, by comparing the results with the suitability test of X-ray machines at one of the hospitals in Surabaya. The results showed 100% accuracy on the X-axis, 75% on the Y-axis, and 100% perpendicularity. Thus, this tool is proven to be reliable and suitable for use in testing the collimation system of X-ray machines.

Keywords: Indosievert, Collimation, Quality Assurance.

Abstrak

Kualitas gambar dalam pemeriksaan radiologi sangat menentukan efektivitas diagnosis, sehingga pengelolaan mutu pesawat sinar-X menjadi krusial. Diperlukan sistem jaminan mutu (QA) yang mencakup pemantauan internal dan eksternal untuk menjamin kinerja optimal dan keselamatan pasien. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keandalan Indosievert Collimator Test Tool sebagai perangkat uji lokal yang terjangkau dan sesuai standar, dengan membandingkan hasilnya terhadap uji kesesuaian pesawat sinar-X di salah satu RS di Surabaya. Hasil menunjukkan akurasi 100% pada sumbu X, 75% pada sumbu Y, serta ketegaklurusan 100%. Dengan demikian, alat ini terbukti andal dan layak digunakan dalam pengujian sistem kolimasi pesawat sinar-X.

Kata Kunci: Indosievert, Kolimasi, Jaminan Mutu.

A. PENDAHULUAN

Pesawat sinar-X merupakan salah satu modalitas radiologi diagnostik yang paling umum dan luas digunakan dalam praktik klinis modern. Teknologi ini memberikan kemampuan pencitraan struktur internal tubuh secara real-time dan non-invasif, sehingga sangat membantu dalam proses diagnosis berbagai penyakit, termasuk patah tulang, infeksi paru, hingga deteksi awal kanker (Bushberg et al., 2012). Namun, efektivitas pemeriksaan radiologi sangat bergantung pada kualitas gambar yang dihasilkan, sehingga pengelolaan mutu pesawat sinar-X menjadi aspek yang krusial.

Untuk memastikan kinerja optimal dan keselamatan pasien, diperlukan sistem jaminan mutu (quality assurance/QA) yang mencakup pemantauan kualitas internal dan eksternal. Program QA bertujuan untuk menjamin bahwa semua parameter teknis alat berada dalam batas yang dapat diterima dan bahwa alat tersebut mampu menghasilkan citra diagnostik yang berkualitas tinggi dengan dosis radiasi serendah mungkin (Aslow,

2013). Dalam konteks ini, uji kesesuaian pesawat sinar x radiologi diagnostic menjadi system jaminan mutu eksternal berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.

Keandalan pengujian sangat ditentukan oleh ketersediaan perangkat uji yang akurat. Namun, di banyak negara berkembang, termasuk Indonesia, pelaksanaan uji kesesuaian menghadapi tantangan serius berupa ketergantungan terhadap alat ukur buatan luar negeri. Peralatan tersebut umumnya mahal, sulit diperoleh. Kondisi ini menyoroti pentingnya pengembangan dan inovasi perangkat uji keandalan lokal yang lebih terjangkau namun tetap sesuai dengan standar. Upaya ini tidak hanya akan mendukung keberlanjutan program jaminan mutu nasional, tetapi juga meningkatkan kemandirian teknologi dalam bidang kesehatan.

Landasan Teori

Penggunaan pesawat sinar-X untuk keperluan radiologi diagnostik dan intervensional merupakan kegiatan yang memiliki potensi risiko paparan radiasi terhadap pasien, petugas, dan lingkungan, sehingga memerlukan pengaturan yang ketat. Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2020 hadir sebagai regulasi utama yang mengatur keselamatan dan proteksi radiasi dalam penggunaan pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik Intervensional. Lingkup pengaturan dalam peraturan ini mencakup berbagai aspek penting, untuk jenis pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik Intervensional yang digunakan, seperti radiografi umum, fluoroskopi, CT-scan, mammografi, dan pesawat dental. Peraturan ini mewajibkan adanya proteksi radiasi terhadap pasien melalui justifikasi klinis, optimalisasi dosis, dan penerapan prinsip ALARA (As Low As Reasonably Achievable)

Uji kesesuaian merupakan salah satu aspek penting dalam sistem jaminan mutu penggunaan pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik Intervensional. Berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, uji kesesuaian didefinisikan sebagai serangkaian pengujian teknis terhadap parameter kinerja pesawat sinar-X untuk memastikan bahwa peralatan berfungsi dengan baik, aman digunakan, dan mampu menghasilkan citra diagnostik yang layak. Tujuan dari uji kesesuaian ini adalah untuk memverifikasi keandalan, akurasi, dan kestabilan fungsi alat terhadap parameter-parameter teknis tertentu yang telah ditentukan oleh BAPETEN dan mengacu pada standar internasional, seperti IAEA (International Atomic Energy Agency) dan IEC (International Electrotechnical Commission).

Selanjutnya, Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2020 tentang Pemenuhan Persyaratan dan Verifikasi Keselamatan dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional, menekankan bahwa uji kesesuaian merupakan bagian integral dari proses verifikasi keselamatan instalasi dan pengoperasian pesawat sinar-X. Uji ini wajib dilakukan oleh personel yang kompeten dan menggunakan peralatan ukur yang telah terkalibrasi. Dalam konteks parameter keandalan, uji kesesuaian mencakup beberapa indikator teknis utama, seperti akurasi tegangan tabung (kVp), linearitas dan reproduktibilitas arus tabung (mA), waktu eksposi, kesesuaian berkas radiasi, resolusi spasial sistem, serta kontras citra. Parameter-parameter ini sangat menentukan sejauh mana sistem mampu memberikan kualitas gambar yang konsisten tanpa membahayakan pasien maupun pekerja radiasi melalui paparan radiasi yang tidak diinginkan.

Keandalan alat dalam konteks uji kesesuaian sangat berkaitan dengan konsistensi kinerja jangka panjang serta kemampuan alat dalam menghasilkan nilai pengukuran yang sesuai dengan standar referensi. Oleh karena itu, pelaksanaan uji kesesuaian menjadi indikator objektif dalam menilai apakah pesawat sinar-X masih layak digunakan atau tidak. Dalam praktiknya, salah satu tantangan yang dihadapi adalah ketergantungan pada

peralatan uji buatan luar negeri yang mahal dan tidak selalu tersedia di dalam negeri. Hal ini mendorong perlunya inovasi dan pengembangan perangkat uji lokal yang setara secara teknis agar pelaksanaan uji kesesuaian dapat dilakukan secara mandiri, dan efisien.

Kolimator merupakan alat pembatas radiasi yang umumnya digunakan pada radiografi, yang terdiri dari dua set penutup (shutter) timbal atau lempengan yang saling berhadapan dan bergerak dengan arah berlawanan secara berpasangan. Kolimator berfungsi mengontrol ukuran dan bentuk lapangan radiasi, sehingga dapat membatasi dosis radiasi yang diterima pasien, meminimalkan penyebaran (scatter radiation), serta meningkatkan kualitas citra radiografi dengan mengurangi kabut (fog) pada film atau detektor digital. Oleh karena itu, pengujian kolimasi merupakan salah satu parameter penting dalam uji kesesuaian pesawat sinar-X.

Sesuai Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018, pengujian kolimasi masuk ke dalam parameter geometri radiasi, dan wajib dilakukan dalam uji kesesuaian awal maupun berkala. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa proyeksi cahaya kolimator sesuai dengan lapangan radiasi aktual yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X. Ketidakesesuaian antara proyeksi cahaya dan berkas radiasi dapat menyebabkan paparan tidak disengaja terhadap jaringan pasien yang tidak menjadi target, dan juga menurunkan efisiensi diagnostik.

Dalam praktik pengujian, kolimasi diuji dengan menggunakan kaset film atau detektor digital, dan alat uji kolimasi (beam alignment test tool). Uji ini juga melibatkan verifikasi kesesuaian paparan radiasi berdasarkan luasan cahaya kolimator yang telah ditetapkan penguji. Penyimpangan yang melebihi batas toleransi dapat berdampak pada peningkatan dosis radiasi.

Dengan demikian, pengujian kolimasi merupakan bagian krusial dalam menjamin keselamatan pasien dan kualitas diagnostik dalam radiografi umum. Pemenuhan persyaratan ini tidak hanya memperkuat aspek keselamatan radiasi, tetapi juga menjadi bukti kesesuaian teknis terhadap ketentuan nasional yang berlaku di bawah pengawasan BAPETEN.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menguji kinerja kolimator pada pesawat radiologi diagnostik di Rumah Sakit Di Surabaya dengan menggunakan metode uji berdasarkan Pedoman Uji Pesawat Sinar-X Diagnostik Medis Nomor KU/PD/DKKN/04/1 yang dikeluarkan oleh BAPETEN. Fokus pengujian diarahkan pada aspek kolimasi pesawat sinar-X, khususnya untuk mengevaluasi kesesuaian antara lapangan cahaya dengan lapangan radiasi. Pengujian dilakukan secara langsung di ruang radiologi dengan memanfaatkan alat bantu seperti Pengolah Citra Digital (DR) dan Alat Uji kolimasi. Pesawat sinar-X disetel pada kondisi eksposi tertentu sesuai dengan panduan, dan DR diletakkan di atas meja pemeriksaan dengan kolimasi disesuaikan terhadap area tertentu. Setelah eksposi dilakukan, citra diproses dan dianalisis untuk mengukur selisih antara tepi bayangan lapangan cahaya dan bayangan lapangan radiasi. Nilai selisih ini dibandingkan dengan ambang toleransi yang diperbolehkan dalam pedoman, yaitu tidak melebihi $\pm 2\%$ dari jarak fokus-ke-detektor (FFD). Hasil pengujian ini digunakan untuk menentukan keandalan kolimator sebagai bagian dari upaya pemenuhan standar keselamatan radiasi dan kualitas citra diagnostik. Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil uji kesesuaian yang telah dilakukan untuk pesawat yang sama.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X

Pengujian selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X bertujuan untuk mengetahui deviasi atau perbedaan antara batas cahaya kolimator dan batas nyata berkas radiasi sinar-X (Δ), guna memastikan akurasi sistem kolimasi pada pesawat sinar-X diagnostik. Pengujian ini menggunakan reseptor citra digital (DR) ukuran 24 x 30 cm, penanda (marker), meteran, waterpass, dan alat uji kolimator berupa Collimator Alignment Test Tool. Prosedur dimulai dengan meletakkan reseptor citra pada permukaan datar, lalu menempatkannya di tengah lapangan kolimasi dan mengatur jarak antara fokus tabung dengan reseptor sebesar 100 cm (SID = 100 cm). Kerataan antara tabung, kolimator, dan reseptor diperiksa menggunakan waterpass, serta dipastikan bahwa sumbu anoda-katoda sejajar dengan permukaan reseptor. Selanjutnya, Collimator Alignment Test Tool diletakkan di tengah reseptor citra dan disesuaikan kerataannya. Lapangan kolimasi diatur sebesar 14 x 14 cm atau sesuai dengan ukuran alat uji, dan titik pusat kolimator disejajarkan dengan pusat cahaya (cross hair). Posisi nilai batas cahaya dicatat dalam koordinat X1, X2, Y1, dan Y2, kemudian dilakukan dokumentasi pengaturan awal. Setelah itu dilakukan eksposi radiografi dengan parameter penyinaran sesuai karakteristik pesawat sinar-X yang diuji. Hasil citra pada film kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kesesuaian lapangan cahaya terhadap lapangan berkas sinar-X, dengan mencatat selisih berdasarkan perbedaan posisi X1, X2, Y1, dan Y2 antara cahaya dan radiasi.

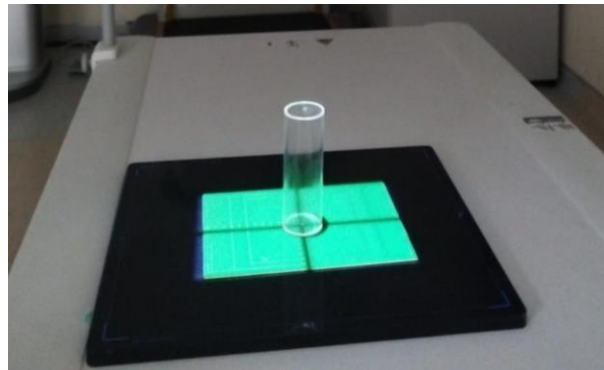
Ketegaklurusan Berkas Sinar-X

Pengujian ketegaklurusan berkas sinar-X bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana arah pancaran berkas sinar-X lurus dan sejajar terhadap pusat cahaya kolimator, guna menjamin keakuratan posisi pencitraan serta keselamatan pasien. Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi reseptor citra, penanda (marker), meteran, waterpass, serta Beam Alignment Test Tool sebagai alat utama untuk menguji ketepatan arah berkas. Pengujian dilakukan bersamaan dengan uji selisih lapangan kolimasi, yaitu setelah langkah penempatan Collimator Alignment Test Tool. Selanjutnya, Beam Alignment Test Tool ditempatkan tepat di pusat area pencahayaan, dengan memastikan bahwa titik pusat alat sejajar dan berhimpitan dengan pusat cahaya kolimator (cross hair). Hasil citra dari penyinaran kemudian dianalisis untuk mengevaluasi apakah berkas sinar-X jatuh tepat pada pusat sistem kolimasi. Evaluasi dilakukan dengan mengamati posisi bayangan titik pusat berkas sinar-X terhadap lingkaran dalam atau luar pada citra hasil uji. Derajat penyimpangan atau deviasi titik fokus dicatat dan dihitung untuk menentukan nilai pergeseran pusat penyinaran. Nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan batas toleransi yang ditetapkan dalam pedoman uji untuk menentukan apakah sistem kolimasi lolos uji ketegaklurusan berkas. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa arah sinar-X tidak mengalami penyimpangan signifikan yang dapat berdampak terhadap kualitas citra maupun keselamatan pengguna.

Spesifikasi Teknis Alat Uji

Alat uji yang digunakan dalam pengujian kolimator dan ketegaklurusan berkas sinar-X terdiri dari Indosievert Collimator Test Tool dan Beam Alignment Tool, yang dirancang khusus untuk mendukung evaluasi sistem kolimasi pada pesawat sinar-X diagnostik. Indosievert Collimator Test Tool terbuat dari bahan lempeng yang dilapisi tembaga, dengan ketebalan 1,4 mm dan ukuran keseluruhan 25 cm x 18 cm. Permukaan alat ini dilengkapi dengan skala pengukuran dalam satuan sentimeter yang berfungsi sebagai penanda posisi cahaya, yang dibagi ke dalam empat kuadran simetris. Masing-masing kuadran memiliki skala pengukuran sepanjang 8 cm dan 12 cm, yang memungkinkan penilaian deviasi cahaya dari pusat pencahayaan secara presisi. Sementara

itu, alat Beam Alignment terbuat dari bahan dasar akrilik transparan dengan bentuk menyerupai tabung silinder. Alat ini memiliki ketebalan dinding 1 mm, tinggi tabung 15 cm, dan diameter luar lingkaran alas sebesar 5 cm. Desain alat ini memungkinkan visualisasi langsung terhadap titik jatuhnya berkas sinar-X dan posisinya terhadap pusat sistem kolimasi, sehingga sangat berguna dalam penilaian ketegaklurusan pancaran berkas sinar-X.



Gambar 1. Indosievert Collimator Test Tools

Hasil dan pembahasan pengujian kolimasi

Data Pesawat

Merk Tabung : GE

Model/ Tipe : 2336058

No Seri Tabung : 177087814

Lokasi : Ruang Radiologi

Pengujian menggunakan TOR ABC Collimator test Tool

Data Uji Kesesuaian Selisih Lapangan Kolimasi

Tabel 1. Hasil Uji Kesesuaian Uji Kolimasi Acuan

Titik Ukur	Tepi lapangan Cahaya	Tepi lapangan sinar X	% SID
X1	7,0	7,0	0,3
X2	7,0	6,7	
X3	7,0	7,0	0,4
X4	7,0	6,4	

Tabel 2. Hasil Uji Ketegaklurusan Berkas Acuan

Ketegaklurusan	Hasil Ukur
	1,5°

Data pengukuran menggunakan Indosievert Collimator Test Tool

Tabel 3. Hasil Pengujian Uji Kolimasi menggunakan Indosievert Collimator Test Tools

Titik Ukur	Tepi lapangan Cahaya	Tepi lapangan sinar X	% SID
X1	7,0	7,1	0,3
X2	7,0	6,8	
X3	7,0	7,2	0,3
X4	7,0	7,1	

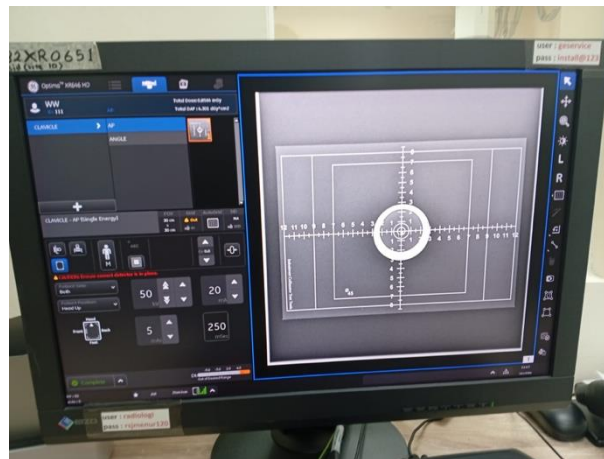
Tabel 4. Hasil Pengujian Ketegaklurusan Berkas menggunakan Indosievert Collimator Test Tools

Ketegaklurusan	Hasil Ukur
	1,5°

Hasil

Tabel 5. Hasil perbandingan acuan dan pengujian

Pengukuran	Hasil Uji Kesesuaian	Pengukuran ICT	Akurasi
%SID (X)	0,3	0,3	100%
%SID (Y)	0,4	0,3	75%
Ketegaklurusan	1,5°	1,5°	100%



Gambar 2. Hasil pengujian ketegaklurusan Citra

Pengujian kolimator pesawat sinar-X di Rumah Sakit Di Surabaya menunjukkan hasil yang berada dalam rentang toleransi sesuai Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018. Berdasarkan pengukuran menggunakan Indosievert Collimator Test Tool, deviasi lapangan kolimasi terhadap lapangan berkas sinar-X tercatat sebesar 0,3% SID pada sumbu X dan 0,3% SID pada sumbu Y. Sementara itu, hasil uji kesesuaian menunjukkan deviasi sebesar 0,3% SID pada sumbu X dan 0,4% SID pada sumbu Y. Jika dikonversi dengan asumsi jarak SID sebesar 100 cm, nilai deviasi aktual masing-masing adalah 0,3 cm (X), 0,3 cm (Y) dari pengukuran, dan 0,3 cm (X), 0,4 cm (Y) dari uji kesesuaian. Seluruh nilai ini jauh di bawah batas toleransi maksimum yang diizinkan, yaitu $\pm 2\%$ dari SID atau ± 2 cm. Selain itu, hasil pengujian ketegaklurusan berkas sinar-X menunjukkan nilai deviasi sebesar 1,5o, baik pada pengukuran maupun uji kesesuaian, masih berada di bawah ambang batas maksimum sebesar 3 o. Dari segi akurasi, perbandingan antara hasil pengukuran dan uji kesesuaian menghasilkan akurasi sebesar 100% pada sumbu X dan 75% pada sumbu Y. Artinya, alat ukur dan kondisi aktual pesawat memiliki kesesuaian sangat tinggi secara horizontal, dan perbedaan vertikal masih dalam batas yang dapat diterima secara teknis. serta untuk ketegaklurusan mendapatkan hasil yang sama 100% Berdasarkan keseluruhan hasil angka, dapat disimpulkan bahwa pesawat sinar-X yang diuji berada dalam kondisi andal, dengan sistem kolimasi dan ketegaklurusan berkas yang memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan dalam praktik radiologi diagnostic.

D. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kualitas Indosievert Collimator Test Tool dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap uji kesesuaian pesawat sinar-X di Rumah Sakit Di Surabaya. Hasil menunjukkan deviasi kolimasi sebesar 0,3% SID (X) dan 0,3% – 0,4% SID (Y), serta deviasi ketegaklurusan 1,5o seluruhnya masih dalam batas toleransi BAPETEN. Akurasi pengukuran mencapai 100% pada sumbu X dan 75% pada sumbu Y. serta untuk ketegaklurusan mendapatkan hasil yang sama 100% Dengan demikian, Indosievert Collimator Test Tool terbukti andal dan layak digunakan dalam pengujian sistem kolimasi pesawat sinar-X.

DAFTAR PUSTAKA

- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The Essential Physics of Medical Imaging* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Aslow, M. (2013). Quality assurance in diagnostic radiology. *Radiological Protection Bulletin*, 2(5), 15–22.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2014). *Quality Assurance Programme for Diagnostic Radiology Facilities: Technical Reports Series No. 457*. Vienna: IAEA.
- World Health Organization (WHO). (2016). *Communicating Radiation Risks in Paediatric Imaging: Information to Support Healthcare Discussions About Benefit and Risk*. Geneva: WHO Press.
- Putra, Y. H., Handayani, T., & Sasmita, A. (2021). Pengembangan alat uji kesesuaian sederhana berbasis mikrokontroler untuk pesawat sinar-X. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 17(3), 201–210.
- Santoso, R., Nugroho, S., & Hidayat, R. (2022). Evaluasi performa sistem radiografi digital dengan alat uji lokal berbasis digital image processing. *Jurnal Teknologi Kesehatan*, 10(2), 88–95.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). (2018). *Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: BAPETEN.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). (2020). *Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2020 tentang Pemenuhan Persyaratan dan Verifikasi Keselamatan dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: BAPETEN.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). (2020). *Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan dan Proteksi Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: BAPETEN.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). (2007). *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series No. 457*. Vienna: IAEA.
- International Electrotechnical Commission (IEC). (2008). *Medical Electrical Equipment - Part 2-54: Particular Requirements for the Basic Safety and Essential Performance of X-ray Equipment for Radiography and Radioscopy. IEC 60601-2-54 Ed.1*. Geneva: IEC.
- Huda, W., & Abrahams, R. B. (2015). Radiation Risks from Medical Imaging: A Primer for Clinicians. *Radiology*, 273(1), 106–118. <https://doi.org/10.1148/radiol.14131510>
- Brennan, P. C., & McEntee, M. F. (2011). Optimising Diagnostic Yield in Radiography: Balancing Image Quality and Radiation Dose. *Radiologic Technology*, 83(1), 8–18.
- Vano, E., Gonzalez, L., & Fernandez, J. M. (2001). Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. *British Journal of Radiology*, 74(884), 1021–1027. <https://doi.org/10.1259/bjr.74.884.7401021>
- American Association of Physicists in Medicine (AAPM). (2005). *Quality Control Manual for Radiographic X-ray Equipment. AAPM Report No. 74*.
- Seeram, E. (2016). *Digital Radiography: Physical Principles and Quality Control* (2nd ed.). Springer Publishing Company.