

Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Fluoroskopi (Siemens) Menggunakan Multimeter X-ray (R/F Raysafe) dan Fantom PMMA

Analysis of X-ray Fluoroscopy (Siemens) Quality control Using X-ray Multimeter (R/F Raysafe) and PMMA Phantom

Husnul Hayati¹, Fashbir¹, Rini Safitri¹, Kurnia Lahna¹, T Khairuman¹,
Umiatin² dan Elin Yusibani^{*1}

Received 13 February 2025

Accepted 26 March 2025

Published March 2025

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh 23111

²Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Jakarta, Jln Rawamangun Muka No. 1

Abstrak. Pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional yang digunakan oleh fasilitas kesehatan diwajibkan untuk diuji secara berkala sebelum dapat mulai dioperasikan. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis uji kesesuaian pesawat sinar-X Fluoroskopi (SIEMENS AGILE MAX) di Rumah Sakit Tipe A Banda Aceh. Pengukuran uji kesesuaian secara langsung telah dilakukan menggunakan fantom berjenis PMMA, pesawat sinar-X Fluoroskopi, multimeter X-ray, dan filter aluminium. Standar BAPETEN No. 2 tahun 2018 digunakan sebagai acuan. Berdasarkan hasil analisis pengukuran didapatkan bahwa pengukuran akurasi tegangan didapatkan sebesar 0,13-0,3% melebihi dari nilai sebenarnya, namun nilai tersebut masih berada di bawah ambang batas standar. Nilai kualitas berkas radiasi (HVL) relatif kecil bila dibandingkan dari nilai HVL minimum standar yang bernilai dalam kisaran 1,8 sampai 27 mmAl untuk tegangan kisaran 60 - 100 kVp. Laju dosis tipikal pada pesawat ini telah memenuhi standar, begitu pula laju dosis maksimum di udara yang juga masih di bawah nilai yang ditetapkan standar, namun laju dosis maksimum di udara teramati terdapat nilai sebesar 60 mGy/menit pada tegangan 100 kVp.

Abstract. Diagnostic and interventional radiology X-ray machines used by health facilities are required to undergo periodic testing before being put into service. This study was conducted to analyze the appropriateness of a fluoroscopic X-ray machine at a type A hospital in Banda Aceh. Direct quality assurance measurements were performed using a PMMA-type phantom, a fluoroscopic X-ray machine (SIEMENS AGILE MAX), X-ray multimeters, and aluminum filters. The BAPETEN standard No. 2 in 2018 was used as a reference. Based on the measurement analysis results, the voltage accuracy measurement is deviated by 0.13–0.3% higher from the voltage setting; however, it remained within the minimum threshold by BAPETEN standard. The radiation beam quality value (HVL) is relatively low compared to the standard minimum value and remained below the threshold. The typical dose rate has met the standard, and the maximum dose rate in the air is also below the set standard. However, the maximum dose rate in the air was observed to be 60 mGy/min at a voltage of 100 kVp.

Keywords: Fluoroskopi, Akurasi Tegangan, Laju Dosis, Kualitas Berkas Radiasi

Pendahuluan

Pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan intervensional, apabila akan dipergunakan oleh fasilitas kesehatan diwajibkan untuk diuji secara berkala sebelum mulai dioperasikan. Khusus untuk pesawat sinar-X fluoroskopi harus dilakukan setiap empat tahun sekali berdasarkan Peraturan BAPETEN No. 2 Tahun 2018 pasal lima. Uji kesesuaian dilakukan bertujuan untuk menjamin setiap parameter penyinaran pada pesawat sinar-X tersebut telah memenuhi standar, sehingga andal dan aman bagi pasien, pekerja dan masyarakat di sekitarnya. Akurasi, linieritas dan kestabilan fungsi dari pesawat sinar-X harus sesuai dengan standar, dan apabila terjadi penyimpangan haruslah berada dalam nilai batas toleransi yang telah disepakati. Parameter uji kesesuaian yang dilakukan adalah kesesuaian dan kelurusan berkas sinar-X dengan cahaya kolimator, kuat iluminasi lampu kolimator, akurasi waktu ekspos, akurasi tegangan tabung, linearitas keluaran berupa laju dosis, kualitas berkas sinar-X yang dikenal dengan nama *Half Value Layer* (HVL), kebocoran tabung sinar-X, nilai reproduksibilitas tegangan tabung, waktu ekspos dan nilai radiasi, kualitas dari citra dan titik fokus, dan informasi dosis paparan dari pasien (perka. BAPETEN, No. 2 2018). Fluoroskopi adalah sistem pembentukan citra menggunakan sinar X secara *real-time* dengan resolusi tinggi (Bushberg, 2002, Soejoko, (2008), Scheuler (2000)). Perbedaan yang cukup signifikan dari pesawat sinar-X fluoroskopi dan pesawat sinar-X lainnya adalah pesawat ini memiliki lembar penguat fluorosensi (tabir) dengan sistem visual sehingga citra dapat direkam secara *real-time*. Perekaman secara kontinu menyebabkan pesawat sinar-X fluoroskopi berpotensi memiliki

nilai paparan dosis lebih tinggi dari pesawat lainnya. Oleh sebab itu, kehandalan dari pesawat sinar-X fluoroskopi sebelum dioperasikan harus dipastikan sehingga diperlukan uji kesesuaian.

Uji kesesuaian pesawat sinar-X fluoroskopi intervensional menggunakan multimeter sinar-X sebelumnya telah banyak dilakukan di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin Makassar. Hasil pengukuran didapatkan nilai rata-rata dosis tipikal diperoleh sebesar 18,76 Gy/menit dan laju dosis di permukaan sebesar 23,25 Gy/menit (Latif, 2016). Untuk parameter kolimasi berkas sinar-X didapatkan kesesuaian titik pusat tabung penguat gambar dan monitor rata-rata ukuran diperoleh sebesar 10,4 cm dan 10,3 cm. Area berkas sinar-X dengan monitor dan tabung penguat gambar diperoleh bernilai sama sebesar 20,7 cm (Dewi, 2016). Penelitian lanjutan di rumah sakit yang sama diketahui nilai laju dosis tipikal dan maksimum di udara diperoleh rata-rata sebesar 19,42 mGy/menit, dan tahap kedua diperoleh sebesar 7,54 mGy/menit (Suciningsari, 2017).

Selain penelitian di atas, pengujian kualitas fluoroskopi juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Seperti yang telah dilakukan di Rumah Sakit Universitas Andalas menggunakan detektor Unfors Raysafe X2 (Susanti, dkk., 2017) dan di PT Siloam Internasional Hospital Makassar yang dilakukan oleh Aswad, dkk. (2018) menggunakan alat multimeter Raysafe dan black Piranha RTI. Studi penentuan dosis pada pemakaian pesawat fluoroskopi juga telah dilakukan menggunakan detektor *ionization chamber* dan *solid state* (Ningsih, 2017).

Berdasarkan hasil penelusuran, pesawat fluoroskopi yang berada di rumah sakit type A Banda Aceh telah beroperasi sejak tahun 2017 dan pertama kali melakukan uji kesesuaian saat penerimaan alat. Selama pengoperasian pesawat fluoroskopi, rumah sakit ini hanya melakukan uji harian seperti *warming up* dan uji bulanan. Rata-rata pasien yang melakukan pemeriksaan fluoroskopi adalah anak-anak, rata-rata pertahun jumlah pasien fluoroskopi adalah 35 orang dari usia balita hingga orang dewasa/usia lanjut. Anak-anak lebih rentan terhadap efek dari radiasi, karena lama penggunaan radiasi pada prosedur pemeriksaan fluoroskopi, maka sangat penting dilakukan uji kesesuaian untuk melihat bagaimana kualitas pesawat sinar-X berdasarkan standar yang telah ditetapkan, dalam hal ini Perka. BAPETEN no 2 tahun 2018. Parameter yang akan diuji pada penelitian ini sangat berpengaruh pada kinerja alat seperti akurasi tegangan, uji HVL dan laju penyinaran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana akurasi tegangan, kualitas berkas sinar-X (HVL), nilai laju dosis tipikal, dan nilai laju dosis maksimum di udara yang dihasilkan pesawat sinar-X pada Fluoroskopi di instalasi radiologi RS Tipe A kota Banda Aceh. Manfaat penelitian ini adalah untuk memastikan keandalan dari fasilitas radiografi terutama pesawat sinar-X fluoroskopi di rumah sakit untuk keamanan pasien, pekerja dan masyarakat sekitarnya.

Metodologi

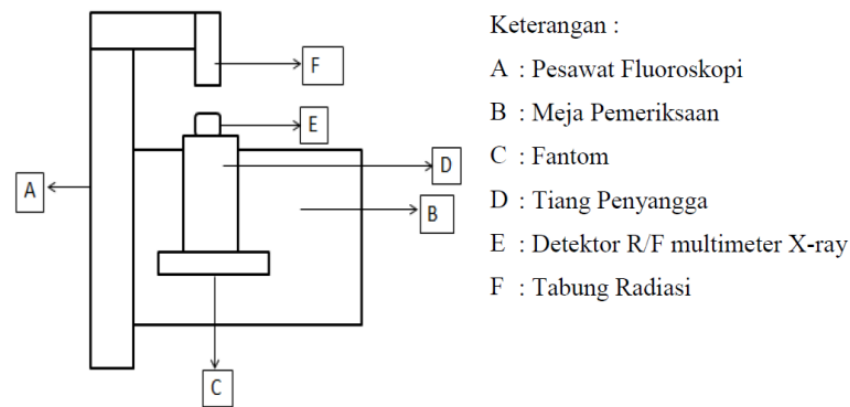
Penelitian ini dilaksanakan pada ruang radiologi Rumah Sakit umum Tipe A kota Banda Aceh. Alat dan bahan yang digunakan adalah Pesawat sinar-X Fluoroskopi (SIEMENS AGILE MAX), Multimeter X-ray (R/F RaySafe), filter bawaan (inherent) dengan ketebalan sebesar 1,5 mmAl, filter tambahan 0,5 mmAl dan fantom PMMA. Variasi tegangan dilakukan pada nilai 60, 70, 80, 90 dan 100 kVp dengan arus sebesar 20 mAs. Waktu paparan sinar-X fluoroskopi adalah sekitar 0,5 menit.

Uji Akurasi Tegangan dan HVL

Langkah uji akurasi tegangan dan HVL dilakukan dengan cara meletakkan tabung sinar-X dalam posisi horizontal dengan *waterpass* agar berkas radiasi dapat jatuh tegak lurus terhadap meja. Alat multimeter X-ray diletakkan pada meja dengan jarak 30 cm dari fokus tabung sinar-X, tegak lurus tepat di atas detektor. Fantom diletakkan pada meja untuk menggantikan pasien. Eksposi diatur pada arus 20 mAs dengan tegangan mulai dari 60 kVp hingga tegangan mencapai 100 kVp. Skema pengukuran terdapat pada Gambar 1. Hasil pengukuran berupa tegangan (kVp) dan HVL yang terbaca pada multimeter X-ray. Pada kolom nilai koreksi tegangan, dimasukkan nilai yang tertera pada sertifikat kalibrasi. Hasil ketidakpastian pengukuran dihitung menggunakan Pers. (1).

$$\text{error} = \frac{kV_{p,\text{set}} - kV_{p,\text{ukur}}}{kV_{p,\text{set}}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana $kV_{p,\text{set}}$ adalah nilai tegangan yang diseting dan $kV_{p,\text{ukur}}$ merupakan nilai tegangan yang terukur di alat multimeter X-ray. Tabel 1 merupakan standar minimum yang telah ditetapkan oleh BAPETEN untuk nilai HVL bersesuaian dengan tegangan yang digunakan.



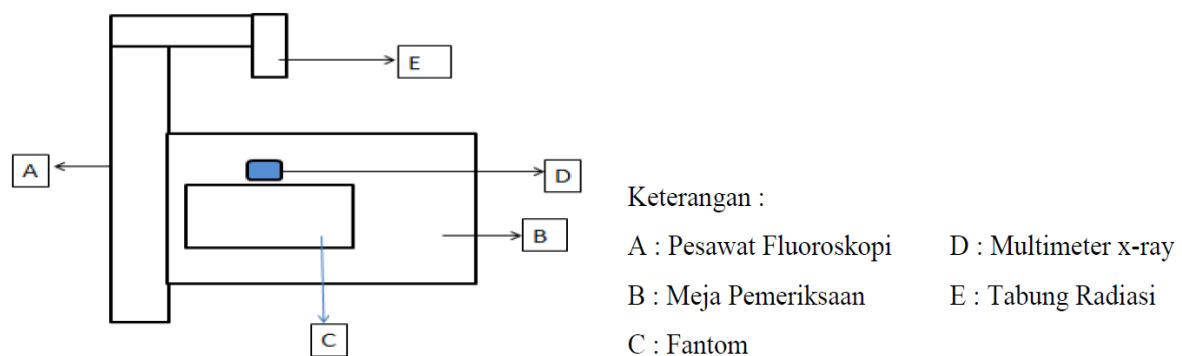
Gambar 1. Skema pengukuran uji akurasi tegangan dan HVL

Tabel 1 Nilai HVL minimum menurut BAPETEN

Tegangan (kVp)	HVL (mmAl)
70	≥ 2.1
80	≥ 2.3
90	≥ 2.5
100	≥ 2.7

Pengukuran laju dosis tipikal

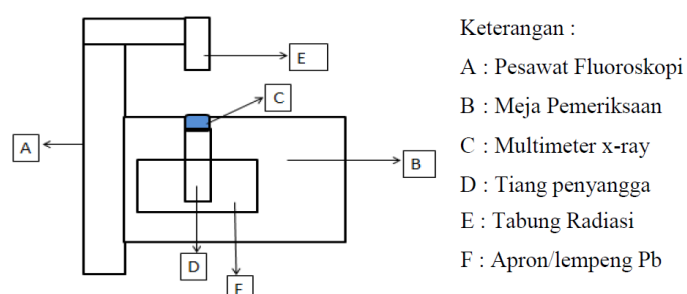
Langkah untuk mengukur laju dosis tipikal dilakukan dengan cara meletakkan tabung sinar-X dalam posisi horizontal dengan *waterpass* agar berkas radiasi dapat jatuh tegak lurus terhadap meja. Fantom diletakkan di atas meja pemeriksaan dengan jarak 100 cm dari fokus tabung sinar-X. Alat multimeter X-ray diletakkan di sebelah fantom. Tegangan 60 kVp sampai dengan 100 kVp dengan arus 20 mAs digunakan untuk uji ini. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengukuran laju dosis tipikal

Pengukuran laju dosis maksimum di udara

Pengukuran laju dosis maksimum di udara dilakukan dengan cara menyiapkan alat ukur multimeter X-ray dan apron sebagai pengganti lempengan Pb, lalu letakkan apron, tiang penyangga dan multimeter X-ray di atas meja pemeriksaan. Arus yang digunakan sebesar 20 mAs dengan tegangan 60 kVp sampai dengan 100 kVp (Gambar 3).



Gambar 3. Skema pengukuran laju dosis maksimum di udara

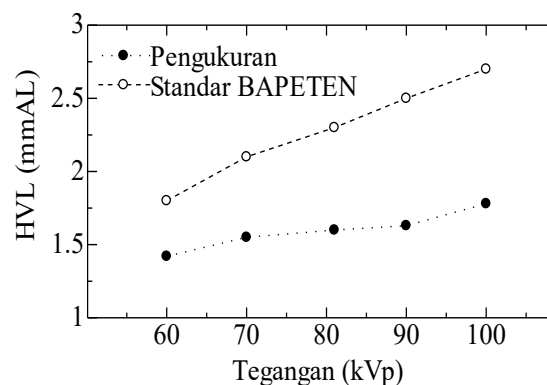
Hasil Penelitian

Hasil uji akurasi tegangan pesawat sinar-X fluoroskopi dapat dilihat pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya penyimpangan tegangan terhadap tegangan set berada dalam rentang 0,1% sampai dengan 0,3% yang artinya akurasi tegangan pesawat fluoroskopi pada rumah sakit tipe A ini masih memenuhi standar yang ditetapkan oleh BAPETEN yakni $\leq 10\%$.

Tabel 2 Hasil uji akurasi tegangan pada arus 20 mA

Tegangan set (kVp)	Tegangan ukur (kVp)	% error
60	59,8	0,33
70	69,8	0,28
81	80,9	0,125
90	89,8	0,22
100	99,8	0,2

Nilai kualitas berkas sinar-X (HVL) akan meningkat seiring dengan naiknya tegangan tabung yang akan berpengaruh pada intensitas radiasi dan kualitas gambar yang dihasilkan. Pengujian kualitas berkas perlu dilakukan bertujuan untuk menyaring energi yang bernilai rendah yang tidak diperlukan dalam pembentukan citra pada radiografi. Dengan melakukan penambahan filter maka akan mengurangi dosis radiasi karena efek dari ketebalan filter sehingga HVL nantinya akan terukur semakin tinggi. Namun dengan berkurangnya nilai HVL akan menyebabkan sinar-X tidak menembus tubuh sehingga berpengaruh pada pencitraan dan memberikan dosis yang besar pada tubuh sehingga nilai tersebut tidak boleh lebih rendah dari standar yang telah ditetapkan. Hubungan antara tegangan dengan nilai HVL untuk nilai minimum yang ditetapkan BAPETEN dan yang terukur dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan maka semakin besar pula nilai HVL yang didapat, namun tidak melebihi nilai minimum yang telah ditetapkan oleh BAPETEN (Tabel 1). Nilai HVL hasil pengukuran lebih kecil dari nilai HVL minimum yang ditetapkan, sehingga kualitas berkas pesawat fluoroskopi berada di bawah ambang batas nilai minimum HVL yang ditetapkan BAPETEN.

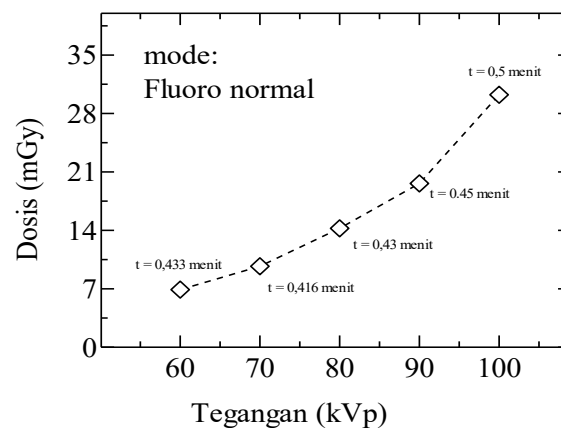


Gambar 4 Grafik hubungan antara HVL terhadap tegangan

Terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi nilai HVL diantaranya adalah filter, baik filter bawaan maupun tambahan, tegangan dari tabung pesawat sinar-X, target dan frekuensi dari generator. Kecilnya nilai HVL terukur kemungkinan disebabkan oleh salah satu faktor di atas, maka sebaiknya pihak rumah sakit segera melakukan kembali uji kesesuaian nilai HVL untuk seluruh parameter fluoroskopi yang disebutkan di atas.

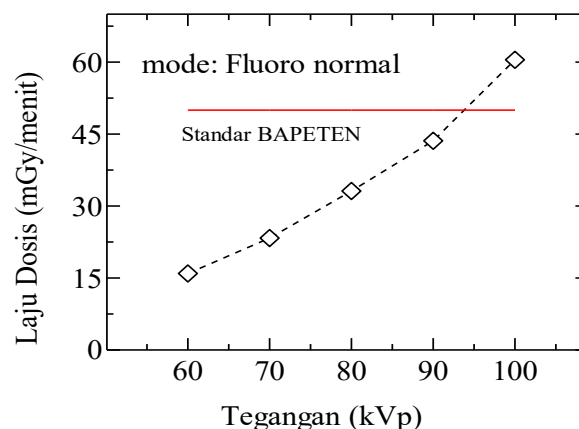
Laju dosis maksimum di udara yang diukur merupakan upaya pengujian untuk mengetahui seberapa besar dosis minimum yang tidak diterima oleh tubuh. Berdasarkan keputusan Kepala BAPETEN No. 2 tahun 2018 diketahui bahwa nilai ini sebesar ≤ 17 mGy/menit untuk dosis tipikal dan sebesar ≤ 50 mGy/menit untuk di udara. Nilai-nilai tersebut adalah nilai dosis terbesar yang diizinkan oleh BAPETEN. Untuk area publik, BAPETEN hanya memperkenankan nilai batas dosis sebesar 5 mSv/tahun. Pada pesawat sinar X fluoroskopi terdapat dua jenis mode yang dapat dipilih, yaitu mode fluoro normal dan mode *high level*. Mode normal adalah mode yang menggunakan dosis maksimum sebesar ≤ 50 mGy/menit sedangkan mode *high level* adalah mode dengan dosis maksimum sebesar ≤ 100 mGy/menit. Mode normal adalah jenis mode yang paling sering digunakan. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara nilai dosis maksimum di udara dan tegangan pada mode fluoro normal, dosis terendah sebesar 6,90 mGy, pada tegangan 60 kVp selama 0,433 menit dan dosis tertinggi pada tegangan 100 kVp sebesar 30,24 mGy selama 0,5 menit.

Berdasarkan data didapatkan bahwa semakin tinggi nilai tegangan yang diberikan maka semakin besar juga dosis yang dihasilkan untuk selang waktu sekitar 0,5 menit.



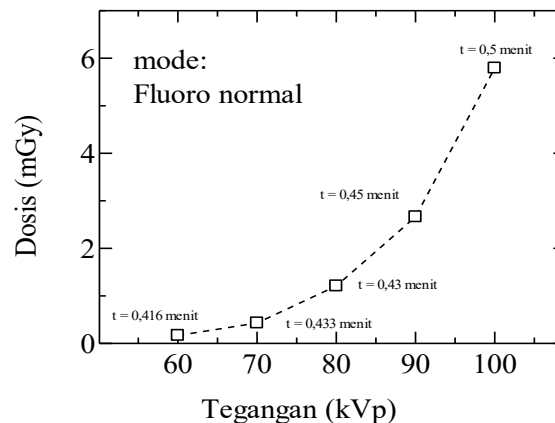
Gambar 5 Hubungan antara dosis maksimum di udara dengan tegangan

Laju dosis maksimum di udara di sekitar pesawat sinar-X fluoroskopi pada penelitian ini diperoleh pada tegangan 100 kVp sebesar 60,48 mGy/menit (Gambar 6). Nilai dosis tersebut telah melewati nilai ambang batas standar yang ditetapkan oleh BAPETEN yaitu sebesar ≤ 50 mGy/menit, dengan nilai penyimpangan sebesar 10,48 mGy/menit. Hal ini kemungkinan terdapat hubungan dengan nilai HVL yang masih di bawah nilai standar yang ditetapkan oleh BAPETEN, yaitu sinar-X tidak menembus tubuh sehingga berpengaruh pada pencitraan dan memberikan dosis yang besar pada tubuh. Hal ini menyebabkan nilai laju dosis maksimum di udara melebihi nilai batas toleransi. Namun demikian pengujian secara keseluruhan perlu dilakukan kembali.



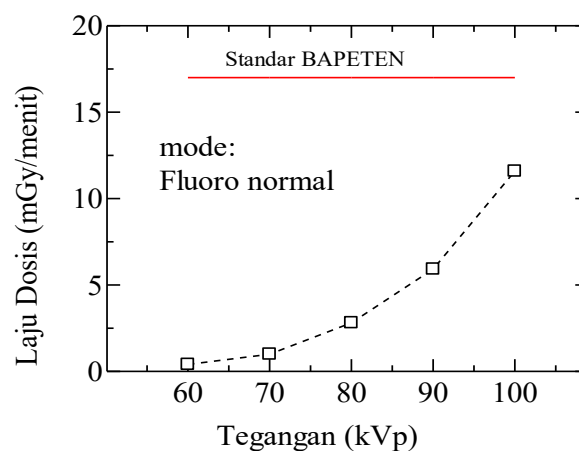
Gambar 6 Hubungan antara laju dosis maksimum di udara dengan tegangan

Pengukuran laju dosis tipikal adalah perhitungan yang dilakukan untuk menghitung dosis yang diterima tubuh. Perhitungan ini sangat penting dilakukan untuk memastikan bahwa dosis yang diterima oleh tubuh tidak melebihi nilai batas dosis perorangan yang telah ditetapkan oleh BAPETEN. Gambar 7 merupakan dosis tipikal yang didapat untuk selang waktu 0,5 menit. Gambar 8 menunjukkan laju dosis tipikal, berdasarkan grafik dapat dilihat bahwa hasil pengukuran laju dosis tipikal masih sesuai standar yang telah ditetapkan BAPETEN, yakni dibawah 17 mGy/menit.



Gambar 7 Hubungan antara dosis tipikal dan tegangan

Dengan adanya pengukuran laju dosis tipikal dan dosis maksimum di udara maka paparan dosis radiasi yang diterima pasien di rumah sakit tipe A kota Banda Aceh saat akan melakukan pemeriksaan radiologi diagnostik dapat diketahui. Pengujian ini sangat penting dalam hal penentuan dosis radiasi yang diterima tubuh, sehingga apabila melebihi batas ambang yang telah ditetapkan oleh standar yang ada, maka dapat berakibat fatal terhadap pasien, diantaranya akan terjadi efek radiasi yang dikenal dengan nama efek deterministik dan stokastik (Akhadi, 2000). Semakin besar dosis paparan radiasi yang diterima oleh tubuh, maka semakin besar peluang terjadinya efek stokastik, yakni efek yang terjadi secara tidak langsung, dan efek deterministik, yakni efek langsung yang dapat segera timbul jika dosis radiasi yang diterima pasien melebihi batas ambang dari standar, seperti muntah, gatal, dll.



Gambar 8 Hubungan antara laju dosis tipikal dengan tegangan

Kesimpulan

Telah berhasil dilakukan pengukuran tentang uji kesesuaian pesawat sinar-X fluoroskopi di rumah sakit tipe A kota Banda Aceh. Hasil uji akurasi tegangan pada rumah sakit ini menunjukkan bahwa nilai uji sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh BAPETEN. Uji HVL menggunakan filter bawaan (*inherent*) dengan ketebalan sebesar 1,5 mmAl dan filter tambahan 0,5 mmAl menunjukkan nilai yang berkisar antara 1,42 sampai dengan 1,78 mmAl, nilai ini lebih kecil dari standar yang telah ditetapkan. Hasil laju dosis maksimum di udara pada pesawat sinar X fluoroskopi sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan dengan nilai maksimum sebesar ≤ 50 mGy/menit. Namun laju dosis tipikal pada pesawat sinar X fluoroskopi pada tegangan 100 kVp telah melebihi standar sebesar 10,48 mGy/menit.

Referensi

AAPM Report No.74, 2002, *Quality Control in Diagnostic Radiology*, Medical Physics Publishing.
Akhadi, M. (2000). *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.

- Aswad, Abdullah, B., Tahira, D. (2018). *Studi Quality Control (QC) Pesawat Fluoroscopy (Angiografi) di PT. Siloam Internasional Hospital Makassar menggunakan Multimeter RaySafe (X2) dan Black Piranha RTI, POSITRON*. 8(2) 25-30.
- BAPETEN. 2015. *Metode Uji Fluoroskopi*. Jakarta.
- Bushberg, J.T., Anthony, J., Edwin, S., Leidholt, M., Boone, J.R. (2002). *The Essential Physics of Medical Imaging*, Second Edition, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia USA.
- Dewi, G.A.D.S. (2016). Analisis Kolimasi Berkas pada Pesawat Fluoroscopy (Mobile C-Arm) di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin. Skripsi. FMIPA UNHAS. Makasar.
- Dhara St.R.R., 2013. Uji Kontrol Pesawat Radiologi Intervensional. Skripsi. FMIPA UNHAS. Makasar.
- IAEA Standard Syllabus Course on Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology
- Latif, A. (2016). Penentuan Laju Dosis pada Pesawat Sinar-X Fluoroscopy (Mobile CArm) di Rumah Sakit Universitas Hasanuddin, Skripsi. FMIPA, UNHAS, Makasar.
- Lysel, M. S.V. (2000). *The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents, Fluoroscopy Optical Coupling and the Video System, Departments of Medicine (Cardiovascular Medicine Section) and Medical Physics*, University of Wisconsin
- Ningsih, S. H. (2017). Studi Penentuan Dosis Pada Pesawat Sinar-X Fluoroskopi Menggunakan Detektor Ionization Chamber Dan Solid State, Skripsi, Universitas Hasanuddin Makassar
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2. (2018). Uji kesesuaian pesawat sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Jakarta.
- Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8. (2011). Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Jakarta.
- Podgorsak, E. B. (2003). *Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna, Austria
- Radiological Council of Western Australia, 2006, *Diagnostic Xray Equipment Compliance Testing*, Department of Health of Western Australia
- Scheuler, B.A. (2000). *The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents General Overview of Fluoroscopic Imaging, Radio Graphics*, 20: 1115– 1126.
- Soejoko, D.S. (2008). Proteksi Radiasi pada Intervensi Kardiovaskular, Departemen Fisika FMIPA UI.
- Suciningsari, T. (2017). Identifikasi laju dosis tipikal dan maksimum di udara pada pesawat sinar X Fluoroskopi dual fungsi dan mobile C-Arm di rumah sakit Pendidikan Universitas Hasanuddin. Skripsi. Saintek. UIN Alauddin Makassar.
- Susanti, R. Milvita, D., & Sandy, K. Y. P. (2017). Uji Kesesuaian Pesawat Fluoroskopi Intervensional merek Philips Allura FC menggunakan Detektor Unfors Raysafe X2 di Rumah Sakit Universitas Andalas, *Jurnal Fisika Unand*, 6(3), 232—239.