



ESTIMATION OF ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) AS A DOSE PROFILE FOR PATIENTS UNDERGOING RADIOGRAPHY EXAMINATION BASED ON TUBE OUTPUT MEASUREMENT

ESTIMASI ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) SEBAGAI PROFIL DOSIS PASIEN YANG MENJALANI PEMERIKSAAN RADIOGRAFI UMUM MENGGUNAKAN METODE TUBE OUTPUT

Risalatul Latifah* , Muhammad Rosyid, Firdy Yuana, Achmad Hidayat

Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science, Universitas Brawijaya, Malang-Indonesia

Research Report
Penelitian

ABSTRACT

Background: Radiography examinations are the most widely used and indispensable tools in medical imaging. The dose received by the patient should be known to prevent the risk of radiation exposure. Patient dose in radiography examination can be best estimated in terms of entrance surface dose (ESD). ESD value can be obtained by using the recorded dose viewer installed on the device. However, not all devices have this feature. Other methods can be conducted using thermoluminescence dosimeter (TLD) although it practically requires a high cost. **Purpose:** The study aims to estimate the ESD as a dose profile for patients undergoing radiography examination using tube output. **Method:** The patient data and exposure factors were retrospectively recorded for 263 patients. The ESD was estimated from the measurements of the X-ray tube output and recorded exposure factors. **Results:** The ESD value varied from 0.002 to 0.41 mGy. In the thorax PA, thorax LAT, cervical LAT, cervical AP, skull AP, skull LAT, genu LAT and waters was found (0,23±0.05) mGy, (0,09±0,05) mGy, (0,07±0,04) mGy, (0,13±0,08) mGy, (0,03±0,01) mGy, (0,06±0,02) mGy, (0,04±0,00) mGy (0,04±0,02) mGy, respectively. These results were further used to determine the Local Diagnostic Reference Level (LDRL) value. **Conclusion:** The results revealed that LDRL fell below the national DRL value and international reference.

ARTICLE INFO

Received 29 September 2020
Accepted 9 November 2020
Online 19 November 2020

* Korespondensi (Correspondence):
Risalatul Latifah

E-mail :
risa.latifah@ub.ac.id

Keywords:
ESD, Radiation protection, X-ray
Radiation dose, Tube output, DRL

ABSTRAK

Latar belakang: Pemeriksaan radiografi umum merupakan jenis metode pencitraan tubuh manusia yang paling banyak dilakukan. Informasi mengenai dosis radiasi yang diterima pasien selama menjalani pemeriksaan radiografi umum penting diketahui untuk mencegah resiko dari paparan radiasi. Dosis radiasi yang diperoleh pasien dapat dinyatakan dalam *Entrance Surface Dose* (ESD). Nilai ESD dapat diperoleh dengan melihat *record* dari alat penampil dosis yang terpasang di alat, namun tidak semua alat memiliki fitur ini. Metode lain dapat dilakukan dengan menggunakan *Thermoluminisance Dosimeter* (TLD), namun memiliki kelemahan secara teknis yaitu membutuhkan biaya yang sangat besar. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengukuran *Entrance Surface Dose* (ESD) sebagai profil dosis pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi menggunakan metode *tube output*. **Metode:** Asesmen ESD ini dilakukan pada 263 pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi umum. Dengan melakukan pengukuran *tube output*, serta memanfaatkan data pasien dan parameter penyinaran, nilai ESD dapat diestimasi. **Hasil:** Dari hasil perhitungan, telah didapatkan nilai ESD bervariasi dari 0,002 sampai 0,41 mGy dengan rincian *thorax PA* (0,23±0.05) mGy, *thorax LAT* (0,09±0,05) mGy, *cervical LAT* (0,07±0,04) mGy, *cervical AP* (0,13±0,08) mGy, *skull AP* (0,03±0,01) mGy, *skull LAT* (0,06±0,02) mGy, *genu LAT* (0,04±0,00) mGy dan *waters* (0,04±0,02) mGy. Hasil perhitungan nilai ESD ini digunakan untuk menentukan *Local Diagnostic Reference Level* (LDRL). **Kesimpulan:** Nilai LDRL yang didapatkan pada studi ini masih dibawah nilai DRL nasional dan acuan internasional.

Kata kunci:
Entrance surface dose, Proteksi radiasi, Dosis radiasi sinar-X, *Tube output*, DRL

PENDAHULUAN

Keunggulan sinar-X sebagai teknologi pencitraan tubuh tanpa dilakukan pembedahan serta memberikan gambar detail anatomis, menjadikan pemanfaatan dan pengembangannya terus dilakukan. Radiologi diagnostik merupakan praktik pemanfaatan radiasi sinar-X yang paling umum dan telah terjadi peningkatan substansial dalam jumlah pemeriksaan (Bushong, 2012). Pada tahun 2000, jumlah pemeriksaan rutin sinar-X radiologi diagnostik yang dilakukan di seluruh dunia dilaporkan sekitar 1910 juta terjadi peningkatan jumlah pemeriksaan menjadi 3100 juta dan di tahun 2008. Berdasarkan data tersebut, kajian mengenai dosis radiasi yang diterima oleh pasien yang menjalani pemeriksaan radiodiagnostik di berbagai negara terus dilakukan (Hiswara and Kartikasari, 2015).

Kajian dosis yang diterima pasien merupakan salah satu implementasi optimisasi proteksi radiasi. Banyak regulasi mengenai proteksi radiasi baik di tingkat internasional maupun nasional telah ditetapkan. Di Indonesia, ketentuan proteksi radiasi di bidang radiologi diagnostik telah diatur dalam Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir (PERKA BAPETEN) Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial (BAPETEN, 2011). Selain itu, penilaian dosis pasien juga ditambahkan dalam poin regulasi dalam Standar Nasional Akreditasi Rumah Sakit (SNARS). Dalam dokumen SNARS pada asesmen penilaian (AP 6.3.1) menyatakan bahwa "rumah sakit melakukan identifikasi dosis maksimum radiasi untuk setiap pemeriksaan radiodiagnostik, Imejing dan Radiologi Intervensial".

Penilaian dosis pasien pada pemeriksaan radiografi umum dapat dinyatakan dalam *Entrance Surface Dose* (ESD). ESD dapat dilakukan secara langsung maupun tak langsung. Pemeriksaan langsung dapat menggunakan detektor berupa *Termoluminescence Dosimeter* (TLD) pada pasien yang melakukan pemeriksaan (Sina et al., 2014). Metode ini memiliki kelemahan yakni sulit dilaksanakan secara teknis karena memerlukan biaya yang tinggi. Metode lain dapat memanfaatkan alat penampil dosis yang terpasang di alat. Namun, metode ini hanya bisa dilakukan pada alat yang mempunyai fitur penampil dosis. Pengukuran *Entrance Surface Dose* (ESD) tak langsung dinilai menjadi metode yang paling memungkinkan secara teknis. Metode pengukuran ESD tak langsung dapat dilakukan dengan pendekatan yang didasarkan pada luaran *ouput* (*tube output*) dari masing-masing alat. Studi ini bertujuan untuk mengestimasi nilai ESD sebagai profil dosis pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi umum dengan metode pengukuran *tube output*.

MATERIAL DAN METODE

Sebanyak 263 pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi umum menggunakan alat Philips Digital *Diagnost* diestimasi nilai ESD sebagai profil dosis pasien.

Informasi data dari pasien seperti umur, jenis kelamin dan jenis pemeriksaan beserta parameter penyinaran dicatat. Untuk nilai jarak antar sumber dengan pasien *Focus to Skin Distance* (FSD) diestimasi dari nilai *Focus to Detector Distance* (FDD) digunakan untuk mengestimasi nilai *Focus to Skin Distance* (FSD) dengan persamaan (1).

$$d_{FSD} = FDD - t_p - x \dots (1)$$

dengan t_p adalah ketebalan pasien, untuk ketebalan pasien pada pemeriksaan *chest PA*, *abdomen PA*, *pelvic PA* dan *lumbar spine AP* digunakan standar 23 cm dan 30 cm untuk semua proyeksi LAT. Sedangkah x adalah jarak antara detektor dengan *holder* detektor bagian muka yang diperkirakan pada jarak 5 cm (Suliman, 2020).

Penentuan keluaran berkas radiasi dilakukan dengan pengukuran *Incidet Air Kerma* (INAK). INAK merupakan nilai paparan radiasi sinar-X atau kerma udara pada berkas utama sinar-X yang diukur di udara bebas pada jarak tertentu (100 cm dari titik fokus) tanpa kontribusi radiasi hambur (*backscattering factor*). Pengukuran INAK dari pesawat sinar-X pada penelitian ini dilakukan dengan metode langsung. Pengukuran langsung dilakukan dengan menggunakan X-ray multimeter (Xi Unfors digital dosimeter) untuk menguji *tube output*/luaran tabung. Pengukuran INAK secara langsung merujuk pada pedoman *Technical Report Series* (TRS) No.457. Skematik pengukuran INAK beserta rujukan pada TRS 457 tertampil pada Gambar 1 (IAEA, 2007). Hasil variasi INAK ini nantinya digunakan untuk mengetahui fungsi keluaran tegangan *output Tube Output* (TO). *Entrance Surface Dose* (ESD) ditentukan dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$ESD = BSF \times TO \times \left(\frac{FDD}{FSD} \right)^2 \times mAs \dots (2)$$

dengan BSF adalah nilai koreksi hamburan berdasarkan total filtrasi alat, TO (*Tube Output*) adalah fungsi luaran tegangan yang diperoleh dari pengukuran INAK dengan variasi tegangan tabung, nilai yang dimasukkan pada variabel TO adalah nilai tegangan tabung (kVp) yang digunakan pada setiap jenis pemeriksaan yang nantinya dimasukkan dalam persamaan yang didapat pada perhitungan INAK dalam satuan ($\mu\text{Gy}/\text{mAs}$). *Focus Skin Distance* (FSD) yaitu jarak tabung sinar-X dengan pasien yang dihitung menggunakan persamaan (1) (Ofori et al., 2014).

HASIL

Selama periode pengambilan data bulan Maret 2020, didapatkan data sebanyak 263 dengan komposisi 55% pasien perempuan dan 45% pasien laki laki yang menjalani pemeriksaan radiografi umum dengan variasi jenis pemeriksaan dan parameter penyinaran seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data jenis pemeriksaan beserta faktor parameter penyinaran

Proyeksi	Jumlah pemeriksaan	Umur		kV		mAs		FFD (cm)
		Median	Range	Median	Range	Median	Range	
Thorax PA	179	50	4-82	125	66-125	1.26	0,91-22.4	100
Thorax LAT	32	53	4-81	125	77-125	2.85	1.06- 9.23	180
Cervical AP	18	43	26-76	70	70	3.83	1.49-15.2	100
Cervical LAT	16	43	26-62	77	77	2.4	0.62-5.17	100
Skull AP	8	26	10-48	77	70-77	5.41	3.01-7.49	100
Skull LAT	3	32	20-47	73	73-77	6.25	5.21-7.6	100
Genu LAT	5	58	55-65	66	66	4.99	4.99-5	100
Waters	2	-	25-46	77	77	-	6.21-13.6	100

Pengukuran *output* tabung diperlukan untuk mengestimasi nilai INAK. Fungsi TO didapat dengan membuat grafik antara kVp dan INAK ($\mu\text{Gy}/\text{mAs}$). Persamaan garis dipilih dengan *trendline* "power". Pemilihan *trendline* power dipilih untuk menyesuaikan dengan literatur yang menyatakan bahwa paparan radiasi pada sinar-X diagnostik itu proporsional dengan kuadrat dari nilai kV (Bushong, 2012). Hasil pengujian tegangan *output* tertampil pada Gambar 1.

Dari hasil pengukuran *tube output* didapatkan fungsi *tube output* yaitu $=0,0002 \cdot x^{2,7365}$, dengan x adalah tegangan tabung (kVp) dan y adalah nilai INAK dengan satuan $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$. Dengan mensubstitusi fungsi *tube output* ke persamaan (2), nilai ESAK bisa dinyatakan:

$$\text{ESD} = 1,4 \times 0,0002 \cdot \text{kV}^{2,7365} \times (\text{FDD})^2 \times \text{mAs} \dots (3)$$

(FSD)

PEMBAHASAN

Dengan memperoleh nilai ESD seperti pada persamaan (3), maka didapatkan sebaran nilai ESD untuk masing-masing jenis proyeksi seperti tampak pada Tabel 2. Dari hasil perhitungan, untuk semua prosedur pemeriksaan radiografi umum, didapatkan rentang nilai ESD dari rentang nilai yang terkecil yaitu sebesar 0,002 mGy dan terbesar 0,41 mGy. Walaupun nilai dosis yang diterima pasien relatif rendah, namun nilai rentang dalam satu jenis pemeriksaan cukup tinggi, dilihat dari nilai standar deviasi σ yang dihasilkan. Ragam nilai dosis yang tinggi menunjukkan diperlukan teknik pemeriksaan radiografi yang terstandar. Di lain itu, hal yang menyebabkan ragam nilai ESD yang tinggi dikarenakan dari faktor alat. Philips Digital *Diagnost* merupakan jenis pesawat sinar-X yang memiliki fitur *Automatic Exposure Control* (AEC) yang mana dengan adanya AEC ini mampu mengatur durasi penyinaran yang memang dibutuhkan untuk membuat citra X-Ray secara otomatis bergantung dari kondisi (ketebalan tubuh) pasien. Hal ini mengakibatkan nilai mAs (arus tabung dan waktu) setiap pasien berbeda.

Dalam pemeriksaan radiografi umum, dosis radiasi dipengaruhi beberapa hal, diantaranya arus tabung yang berbanding lurus dan FSD yang berbanding terbalik kuadrat. Penggunaan kV yang tinggi akan mempengaruhi daya penetrasi sinar-X sehingga jika digunakan teknik penyinaran dengan tegangan tabung tinggi, nilai arus tabung bisa diturunkan. Seperti pada pemeriksaan *thoraks* digunakan *setting* 120 kVp untuk tegangan tabung, sehingga mAs yang dibutuhkan lebih kecil (Tabel 1). Nilai mAs yang kecil dapat digunakan ketika reseptor citra *Direct Radiography* (DR) memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga sensitivitas dari detector juga menjadi faktor yang dapat mereduksi dosis radiasi (Herrmann et al., 2002).

Sejak BAPETEN memperkenalkan nilai *Diagnostic Reference Level* (DRL) sebagai wujud implementasi proteksi radiasi paparan medik serta tuntutan akreditasi yang mengharuskan ada asesmen dosis yang diterima pasien menjadi kebutuhan yang harus diimplementasikan oleh fasilitas kesehatan yang memanfaatkan radiasi pengion. Penentuan nilai DRL menjadi tantangan tersendiri pada jenis pemeriksaan radiografi umum. Hal ini dikarenakan banyak tipe pesawat sinar-X yang tidak dilengkapi dengan fitur penampil dosis, juga terbatasnya kesediaan alat ukur yang tersedia di rumah sakit. Sehingga, metode pengukuran tak langsung untuk menentukan nilai ESD menjadi salah satu alternatif dari permasalahan di lapangan seperti ini dapat diselesaikan. Nilai ESD dapat digunakan untuk menentukan *Diagnostic Reference Level* (DRL) tingkat Lokal atau *Local Diagnostic Reference Level* (LDRL) sebagai wujud optimisasi proteksi radiasi pada pasien. Nilai LDRL dapat ditentukan berdasarkan nilai kuartil ke-3 dari sebaran data yang ada (Martin, 2007); (Rosenstein, 2008). Nilai DRL digunakan sebagai alat optimisasi karena merupakan sebuah proses menuju optimal, yaitu menuju kondisi yang mana penerimaan dosis radiasi pada pasien serendah mungkin dengan tetap memperhatikan kualitas citra yang memadai untuk keperluan diagnostik.

Sebagai sebuah proses, maka nilai DRL ini harus direview secara regular (BAPETEN, 2019). Pada studi ini, penentuan nilai LDRL bersifat studi pendahuluan (*preliminary study*). Hal ini dikarenakan data yang digunakan masih minim (hanya data pada pemeriksaan selama kurang lebih satu bulan). Secara ideal, nilai LDRL bisa ditetapkan dan direviu setiap satu tahun atau tiga tahun sekali.

Nilai DRL bukan merupakan nilai batasan yang tidak boleh dilampaui. Implementasi DRL adalah jika terdapat dosis yang melebihi nilai DRL maka perlu dicatat dan dilakukan review yang ditujukan

untuk mencari kemungkinan penyebab dan pilihan perbaikan yang sesuai, kecuali dosis tersebut memang tidak bisa dihindari dengan landasan terjustifikasi secara medis. Demikian pula, untuk jenis pemeriksaan yang jauh dibawah nilai DRL diperlukan evaluasi terkait dengan kualitas citra. Sehingga, tujuan pemeriksaan tidak serta merta mengejar nilai dosis yang serendah mungkin tetapi mengabaikan kualitas citra yang mengandung nilai diagnostik yang menjadi tujuan akhir dari pemeriksaan radiografi umum. Sehingga pada akhirnya dinamika nilai DRL bermuara pada kaidah *As Low As Achievable Reasonable (ALARA)*.



Gambar 2. Hasil pengukuran *tube output*

Tabel 2. Nilai ESD berdasarkan variasi jenis pemeriksaan

Proyeksi	ESD (mGy) (Mean ± 6)	Range	
		Min	Max
Thorax PA	0.23±0.05	0.02	0.32
Thorax AP	0.06±0.05	0.02	0.1
Thorax LAT	0.09±0.05	0.01	0.22
Cervical LAT	0.07±0,04	0.01	0.16
Cervical AP	0.13±0,08	0.05	0.41
Skull AP	0,03±0,01	0.03	0.04
Skull LAT	0,06±0,02	0.03	0.10
Genu LAT	0.04±0,00	0.04	0.04
Waters	0.04±0,02	0.02	0.06

Nilai ESD hasil studi ini, jika dibandingkan dengan studi yang sejenis (Osibote and de Azevedo, 2008), (Suliman, 2020) serta nilai DRL Nasional (iDRL) (BAPETEN, 2019), serta acuan lembaga internasional seperti IAEA (IAEA., 2018) dan *Europian Commission (EC)* (European Union, 2014) ditampilkan pada Tabel 3.

Dapat diketahui bahwa nilai LDRL pada studi ini (Alat Philips Digital *Diagnost* di RS "X") di bawah dari nilai DRL Nasional serta acuan internasional. Nilai ini hanya berlaku spesifik pada satu alat, sehingga untuk jenis dan merk alat lain diperlukan penetapan nilai DRL tersendiri.

Tabel 3. Komparasi nilai LDRL dengan studi lain dan acuan standar

Proyeksi	ESD (mGy)					
	LDRL (studi ini)	iDRL	IAEA (BSS)	EC Pub 180	Suliman, 2019	Osibote, 2008
Thorax PA	0.26	0.6	0.4	0.3	0.15	0.24
Thorax AP	0.12	0.5	1.5	1.5	0.5	0.82
Thorax LAT	0.08	3.2	-	20	-	0.76
Cervical LAT	0.16	3.2	-	-	-	0.82
Cervical AP	0.07	-	5	5	-	-
Skull AP	0.04	1.3	3	3	-	-
Skull LAT	0.04	-	-	-	-	-
Genu LAT	0.04	1.9	-	-	-	-
Waters						

KESIMPULAN

Penentuan perkiraan *Entrance Surface Dose* (ESD) pada pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi umum di RS "X" menggunakan metode pengukuran *tube output* telah dilakukan. Nilai ESD bervariasi dari 0.002 sampai 0.41 mGy dengan rincian *thorax PA* (0.23±0.05) mGy, *thorax LAT* (0,09±0,05) mGy, *cervical LAT* (0,07±0,04) mGy, *cervical AP* (0,13±0,08) mGy, *skull AP* (0,03±0,01) mGy, *skull LAT* (0,06±0,02) mGy, *genu LAT* (0,04±0,00) mGy dan *waters* (0,04±0,02) mGy. Hasil perhitungan nilai ESD ini digunakan untuk menentukan *Local Diagnostic Reference Level* (LDRL). Nilai LDRL yang didapatkan pada studi ini masih dibawah nilai DRL Nasional dan acuan internasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (BPPM) Fakultas MIPA Universitas Brwaijaya yang bersedia mendanai penelitian ini dari dana DPP/SPP UB dengan nomor kontrak 24/UN10.F09.1/PN/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPETEN, 2011. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- BAPETEN, 2019. Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional. Rev 02.
- Bushong, S., 2012. Radiologic Science for Technologists 10th Edition. Texas.

European Union, 2014. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. Part 2/2. Radiat. Prot. N° 180 1–73.

Herrmann, A., Bonél, H., Stäbler, A., Kulinna, C., Glaser, C., Holzknecht, N., Geiger, B., Schätzl, M., Reiser, F., 2002. Chest Imaging with Flat-Panel Detector at Low and Standard Doses : Comparison with Storage Phosphor Technology in Normal Patients. Eur. Radiol. 12, 385–390.

Hiswara, E., Kartikasari, D., 2015. Dosis Pasien pada Pemeriksaan Rutin Sinar-X Radiologi Diagnostik. J. Sains Teknol. Nukl. Indones. 16, 71–84.

IAEA., 2018. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation : Specific Safety Guide. 340.

BAPETEN, 2011. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.

BAPETEN, 2019. Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional. Rev 02.

Bushong, S., 2012. Radiologic Science for Technologists 10th Edition. Texas.

European Union, 2014. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. Part 2/2. Radiat. Prot. N° 180 1–73.

Herrmann, A., Bonél, H., Stäbler, A., Kulinna, C., Glaser, C., Holzknecht, N., Geiger, B., Schätzl, M., Reiser, F., 2002. Chest Imaging with Flat-Panel Detector at Low and Standard Doses : Comparison with Storage Phosphor Technology in Normal Patients. Eur. Radiol. 12, 385–390.

Hiswara, E., Kartikasari, D., 2015. Dosis Pasien pada Pemeriksaan Rutin Sinar-X Radiologi Diagnostik. J. Sains Teknol. Nukl. Indones. 16, 71–84.

- IAEA, 2018. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation : Specific Safety Guide. 340.
- IAEA, 2007. Dosimetry in Diagnostic Radiology : An International Code Of Practice. Technical Report Series.
- Martin, C.J., 2007. Optimisation in general radiography. *Biomed. Imaging Interv. J.* 3.
- Ofori, K., Gordon, S.W., Emmanuel, Akrobortu, A., A., Ampene, Darko. Emmanuel Ofori, K., Gordon, S.W., Emmanuel, Akrobortu, A., A., Ampene, O., D.E., 2014. Estimation of Adult Patient Doses for Selected X-Ray Diagnostic Examinations. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 7, 459–462.
- Osibote, O.A., de Azevedo, A.C.P., 2008. Estimation of Adult Patient Doses for Common Diagnostic X-ray Examinations in Rio De Janeiro, Brazil. *Phys. Med* 24, 21–28.
- Rosenstein, M., 2008. Diagnostic reference levels for medical exposure of patients: ICRP guidance and related ICRU quantities. *Health Phys.* 95, 528–534.
- Sina, S., Zeinali, B., Karimipoofard, M., Lotfalizadeh, F., Sadeghi, M., Zamani, E., Faghihi, R., 2014. Investigation of The Entrance Surface Dose and Dose to Different Organs in Lumbar Spine Imaging. *Biomed Phys. Eng.* 15, 119–124.
- Suliman, I.I., 2020. Estimates of Patient Radiation Doses in Digital Radiography Using DICOM Information at a Large Teaching Hospital in Oman. *J. Digit. Imaging* 33, 64–70.