

## KOMPARASI ENTRANCE SURFACE AIR KERMA (ESAK) DENGAN SOFTWARE CALDOSE\_X DAN METODE TUBE OUTPUT PADA PASIEN THORAX DEWASA DALAM PEMERIKSAAN RADIOGRAFI UMUM BERDASARKAN DATA SI-INTAN

Anugrah Rahma Ari Wigati, Eko Hidayanto, Indras Marhaendrajaya, Pandji Triadyaksa

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

Email: [triadyaksa@gmail.com](mailto:triadyaksa@gmail.com)

Received: 4 September 2022; revised: 4 Oktober 2022; accepted: 9 Oktober 2022

### ABSTRACT

The operational quantity of dosimetry is based on measurement of the Entrance Surface Air Kerma (ESAK) either directly with the thermoluminescence dosimeter (TLD) or indirectly by utilizing the radiation output of the x-ray. However, CALDose\_X and tube output method can also conducted the evaluation with standard equations. This study aims to calculate ESAK on general radiographic thoracic examinations of Anterior Posterior (AP) and Posterior Anterior (PA) projections based on SI-INTAN data using CALDose\_X software and tube output method and analyze the ESAK calculation with Diagnostic Reference Levels (DRL) values. The data is obtained from Bapeten's SI-INTAN database of patient survey data and radiation output data at a hospital in East Java. We collected 76 AP projection data and 111 PA projection data from the database. The data was processed using CALDose\_X and tube output methods and statistically tested by the Normality test and the Wilcoxon test. ESAK on adult thorax examination general radiography of AP projection with CALDose\_X is  $0.34 \pm 0.055$  mGy and tube output method is  $0.33 \pm 0.059$  mGy. While the PA projection with Caldose-X is  $0.31 \pm 0.13$  and the tube output method is  $0.30 \pm 0.13$  mGy. ESAK Thorax examination at hospital X on Caldose X software showed no significant difference with the tube output method and the value was lower than the Indonesian DRL.

**Keywords:** ESAK, Thorax, CALDose\_X, Tube Output Method, DRL.

### ABSTRAK

Kuantitas operasional dosimetri didasarkan pada pengukuran Entrance Surface Air Kerma (ESAK), baik secara langsung dengan thermoluminescence dosimeter (TLD) maupun tidak langsung dengan memanfaatkan keluaran radiasi pesawat sinar-X. Namun, CALDose\_X dan juga metode Tube Output mampu melakukan perhitungan dosis menggunakan persamaan standar. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung ESAK pada pemeriksaan Thorax radiografi umum proyeksi Anterior Posterior (AP) dan Posterior Anterior (PA) berdasarkan data SI-INTAN dengan perangkat lunak CALDose\_X dan metode tube output serta menganalisis perhitungan ESAK tersebut dengan nilai Diagnostic Reference Level (DRL). Data penelitian bersumber pada basis data SI-INTAN Bapeten yang berupa data survei pasien dan data keluaran radiasi pada salah satu rumah sakit di Jawa Timur yaitu sebanyak 76 data proyeksi AP dan 111 data proyeksi PA. Data diolah menggunakan CALDose\_X dan metode tube output serta diuji menggunakan uji normalitas dan uji Wilcoxon. ESAK pada pemeriksaan thorax dewasa radiografi umum rumah sakit X proyeksi AP dengan CALDose\_X sebesar  $0,34 \pm 0,055$  mGy dan metode tube output sebesar  $0,33 \pm 0,059$  mGy. Sedangkan proyeksi PA dengan Caldose-X yaitu

sebesar  $0,31 \pm 0,13$  dan metode tube output sebesar  $0,30 \pm 0,13$  mGy. ESAK pemeriksaan Thorax di rumah sakit X pada CALDose\_X menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan dengan metode *tube output* dan nilainya lebih rendah daripada DRL Indonesia.

**Kata Kunci** : ESAK, Thoraks, CALDose\_X, Metode Tube Output, DRL.

## PENDAHULUAN

Salah satu pemanfaatan sinar-X dalam bidang kesehatan adalah prosedur radiologi diagnostik seperti radiografi, fluoroskopi dan CT-Scan. Paparan radiasi yang dihasilkan dari prosedur radiologi diagnostik memberikan efek biologis radiasi seperti kerusakan jaringan dan organ, probabilitas timbulnya kanker bahkan kerusakan genetik bagi manusia. Oleh karena itu, frekuensi penggunaan radiasi dalam kegiatan medis menjadikan kontributor kedua terbesar sumber radiasi yang diterima oleh manusia, yaitu mencapai 20% dari total penyinaran sumber radiasi [1].

Peraturan Bapeten No. 4 tahun 2020 [2] tentang keselamatan radiasi pada penggunaan pesawat sinar-X dalam radiologi diagnostik dan intervensional, menyebutkan prinsip proteksi radiasi yang ditujukan untuk pekerja, yakni meliputi tindakan limitasi (sesuai nilai batas dosis), sedangkan untuk pasien meliputi tindakan justifikasi (manfaat lebih besar dibandingkan resiko) dan optimasi (dosis optimal dengan minim resiko). Oleh karena itu, upaya optimisasi proteksi radiasi terhadap pasien dilaksanakan mengacu pada tingkat panduan dosis dalam suatu negara yakni *Diagnostic Reference Levels (DRL)*. Disamping itu, informasi dosis yang diterima pasien juga disimpan dalam pangkalan data Sistem Informasi Data Dosis Pasien (SI-INTAN) yang dihimpun oleh Bapeten dan diisikan oleh responden yaitu fasilitas pelayanan kesehatan di Indonesia yang terdaftar dan menerima izin pengoperasian alat radiodiagnostik.

Dosimetri pasien dalam diagnostik sinar-X didasarkan pada penentuan dosis serap permukaan atau *Entrance Surface Air Kerma (ESAK)*. Perhitungan dosis serap permukaan secara langsung

dilakukan dengan alat ukur dosis yang ditempatkan pada permukaan pasien sedangkan secara tidak langsung dilakukan dengan perhitungan yang memanfaatkan keluaran radiasi pesawat sinar-X. Penelitian terdahulu mengenai perhitungan ESAK secara tidak langsung telah dilakukan oleh Setiawan (2019) [3] dengan perangkat lunak CALDose\_X, sedangkan oleh Theiler dkk. (2014) [4] menggunakan metode *Tube Output*. Namun, konfirmasi dan komparasi kedua perhitungan ESAK tersebut belum pernah dirujuk dengan nilai DRL untuk pemeriksaan pasien thorax dewasa pada pemeriksaan radiografi umum. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai ESAK yang diterima pasien pada pemeriksaan thoraks dewasa dengan *software* CALDose\_X dan metode *tube output* serta menganalisis ESAK hasil perhitungan dengan nilai DRL nasional dan internasional.

## DASAR TEORI

### Pesawat Sinar-X Radiografi Umum

Pesawat sinar-X atau pesawat Rontgen adalah suatu alat yang digunakan untuk melakukan diagnosa medis dengan menggunakan sinar-X yang dipancarkan dari tabung inersia dan diarahkan pada bagian tubuh yang akan didiagnosa. Berkas sinar-X tersebut akan menembus dan melewati bagian tubuh kemudian ditangkap oleh film atau detektor sinar-X, sehingga menghasilkan citra dari bagian tubuh yang disinari. Sinar-X diproduksi pada tabung ruang hampa, yang terdiri atas filamen sebagai katoda dan bidang target sebagai anoda. Filamen katoda yang dipanaskan membuat elektron di katoda dipercepat menuju anoda dengan tegangan tinggi pada kisaran kilovolt (kV) dan menumbuk elektron lain di anoda (biasanya terbuat dari tungsten atau

kombinasi bahan lain, misal tembaga, platina dan wolfram). Proses ini membuat terjadinya proses defleksi lintasan elektron, eksitasi atau ionisasi pada atom-atom penyusun material anoda sehingga menghasilkan dua jenis sinar-X; yakni sinar-X karakteristik dan Bremsstrahlung. Pesawat Sinar-X diagnostik yang lengkap terdiri dari sekurang-kurangnya generator tegangan tinggi, panel kontrol, tabung sinar-X, alat pembatas berkas, dan peralatan penunjang lainnya sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 1 [5].

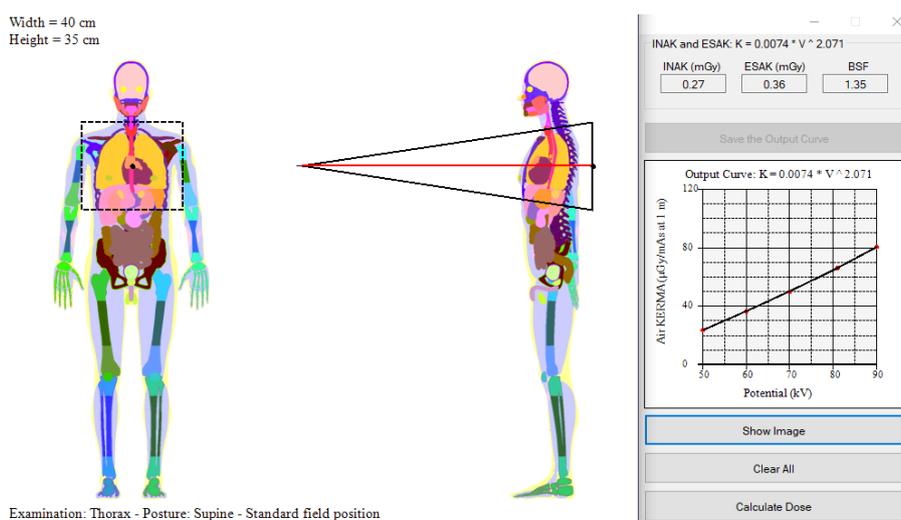


Gambar 1. Pesawat sinar-X radiografi umum.

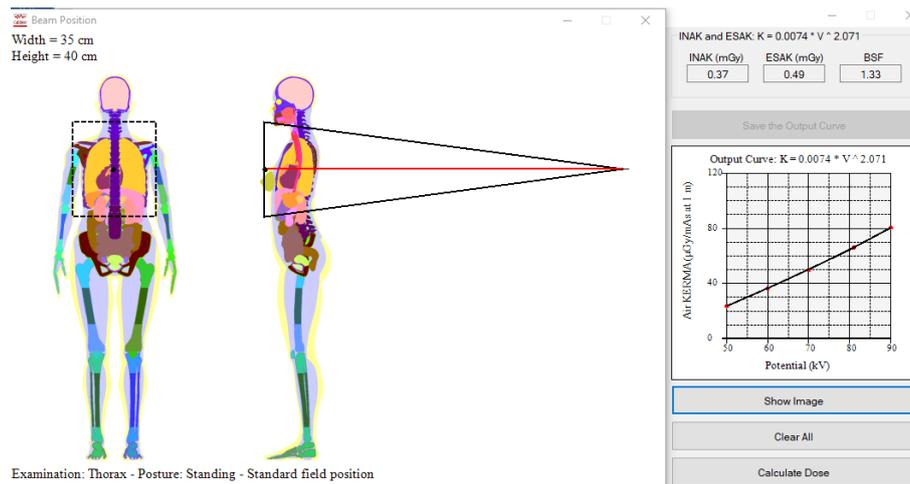
### Teknik Radiografi Thorax

Foto thorax atau *chest X-ray* ialah suatu proyeksi radiografi thorax untuk mendiagnosis kondisi-kondisi yang mempengaruhi *thorax*, isi dan struktur-struktur di dalamnya. Foto thorax memanfaatkan radiasi terionisasi dalam bentuk sinar-X. Foto *thorax* digunakan untuk mendiagnosis banyak kondisi yang melibatkan dinding *thorax*, tulang *thorax* dan struktur yang berada pada *thorax* termasuk paru-paru, jantung dan saluran-saluran yang besar [6]. Fungsi lain pemeriksaan foto adalah sebagai standar *general chek up* dalam mengetahui kondisi tubuh keseluruhan, diagnosis, serta evaluasi prosedur.

Terdapat dua proyeksi *thorax* yang umum digunakan pada radiografi umum, yaitu *anterior-posterior* (AP) dan *posterior-anterior* (PA). Pada posisi PA, sumber sinar-X diproyeksikan menembus tubuh pasien melalui posterior (punggung) dan keluar dari anterior sebetul terdeteksi oleh film atau detektor sinar-X (Gambar 2). Sedangkan pada posisi AP arah paparan sinar-X berkebalikan dengan PA (Gambar 3). Posisi ini digunakan pada pasien yang tidak dapat bangun dari tempat tidur atau pada bayi [7].



Gambar 2. Display *output* perhitungan CALDose\_X proyeksi *anterior-posterior*.



Gambar 3. Display output perhitungan CALDose\_X proyeksi posterior-anterior.

### Dosimetri Pasien Radiodiagnostik

Dosimetri pasien merupakan penentuan kuantitas dosis radiasi yang diterima oleh pasien ketika menerima paparan radiasi terutama pada penyinaran radiologi diagnostik, radiologi intervensional, dan terapi. Menurut International Atomic Energy Agency (IAEA, 2018), dosis adalah ukuran energi radiasi yang disimpan dalam suatu target atau medium tertentu. Selain dosis, dikenal pula istilah *Kinetic Energy Released in Matter* (Kerma) [8]. Kerma adalah jumlah seluruh energi kinetik awal dari semua partikel bermuatan (elektron) yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan (foton) dalam suatu material dengan massa tertentu.

Pada radiologi diagnostik dan intervensional, terminologi mengenai dosis radiasi dalam kuantitas operasional atau terukur untuk pasien dikenal dengan *Incident Air Kerma* (INAK) dan *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK) [9]. INAK didefinisikan sebagai Kerma udara yang diukur pada jarak 100 cm dari titik fokus ke detektor tanpa hamburan balik (*backscatter*). Sedangkan ESAK adalah salah satu satuan kuantitas yang diberlakukan dalam diagnostik dalam rangka menyatakan dosis radiasi yang diterima objek radiasi (fantom atau pasien) yang diukur pada pusat berkas utama dipermukaan fantom atau pasien. ESAK, atau kerma udara, ditentukan dengan koreksi *backscatter factor* (BSF); yaitu

dengan mengalikan INAK dengan faktor hamburan balik yang tergantung pada tegangan potensial tabung, total filtrasi, ukuran kolimasi [10]. Terminologi ESAK memiliki makna fisis yang sama dengan *Entrance Surface Dose* (ESD) [11].

Jika dikaitkan dengan faktor eksposi dalam pendekatan dosimetri secara tidak langsung, parameter paparan dari keluaran tabung sinar-X ( $Y(d)$ ) dicatat selama akuisisi data. Keluaran tabung dipengaruhi oleh tegangan, arus-waktu tabung, dan jarak penyinaran. Keluaran tabung sinar X dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$Y(d) = \frac{K(d)}{P_{it}} \tag{1}$$

dimana  $Y(d)$  dan  $K(d)$  berturut-turut adalah keluaran tabung sinar-X dan kerma udara pada jarak  $d$  dari tabung, dan  $P_{it}$  adalah produk waktu paparan arus tabung. Keluaran radiasi tabung sinar-X pada jarak  $d$  ( $Y(d)$ ) juga merupakan fungsi tegangan potensial (*kilovoltage peak*). Hubungannya didekati dengan persamaan *power* (*power fuction*) fungsi tegangan pada persamaan 2. Regresi *power* ini digunakan untuk memperlihatkan data hasil eksperimen yang meningkat dengan laju peningkatan yang spesifik [12].

$$Y(d) = cP^b \tag{2}$$

$c$  dan  $b$  merupakan koefisien yang muncul dari regresi *power* dan  $P$  merupakan fungsi

tegangan potensial yang digunakan. *Incident Air Kerma (INAK)* dari paparan dapat dihitung secara langsung menggunakan keluaran tabung dan hukum kuadrat terbalik menggunakan persamaan 3.

$$K_i = Y(d) \times P_{it} \times \left( \frac{d}{d_{FTD} - t p} \right)^2 \quad (3)$$

dimana  $K_i$  adalah INAK,  $d$  adalah jarak antara detektor dan fokus tabung,  $d_{FTD}$  adalah jarak antara titik fokus tabung dan meja pasien atau sama dengan *Focus to Film Distance (FFD)* dan  $tp$  menunjukkan ketebalan pasien pada pemeriksaan yang diukur. ESAK ( $K_e$ ) dapat dihitung dengan nilai kerma udara insiden dan koefisien hamburan balik ( $B$ ) menggunakan persamaan 4.

$$K_e = K_i \times B \quad (4)$$

Faktor hamburan balik ( $B$ ) didefinisikan sebagai hasil bagi antara dosis yang diserap pada permukaan pasien (kulit) dengan dosis yang diserap pada titik yang sama di ruang tanpa pasien. Parameter menunjukkan faktor dosis radiasi pada titik tertentu di udara yang meningkat oleh radiasi yang tersebar ke titik yang sama dari pasien [13].

### **Diagnostic Reverence Level (DRL)**

Menurut Perka Bapeten No. 8 tahun 2011, istilah *Dignostic Reference Levels (DRL)* disebut sebagai tingkat panduan paparan medik. DRL didefinisikan sebagai nilai kuartil ketiga dari distribusi dosis yang terekam pada suatu jenis pemeriksaan yang dilakukan dengan pesawat sinar-X tertentu, yang berarti 75 % dari bacaan terukur berada di bawah nilai tersebut [14]. *International Commission on Radiological Protection (ICRP)* memperkenalkan tingkat referensi diagnostik pada tahun 1990 dan selanjutnya mengembangkan konsep tersebut dalam pedoman dalam publikasi No. 73 dan 105 serta Pedoman Pendukung ICRP ke-2 [15]. Secara khusus, ICRP mendefinisikan tingkat referensi diagnostik sebagai suatu bentuk tingkat

penyelidikan, berlaku untuk kuantitas yang mudah diukur, biasanya dosis yang diserap di udara, atau dalam medium yang setara dengan jaringan pada permukaan standar fantom atau pasien. Jika dosis yang diberikan terhadap pasien di suatu rumah sakit secara konsisten lebih besar daripada DRL di negaranya, maka departemen radiologi harus mengkaji ulang teknik penyinaran, menyelidiki mengapa Paparan berada di atas DRL dan mengambil tindakan korektif [12].

DRL memiliki kaitan dengan kualitas citra yang diperlukan untuk memberikan kepercayaan pada hasil diagnostik yang diperoleh. Jika dosis radiasi yang diterima pasien masih dalam batas DRL, citra yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X yang digunakan umumnya juga telah memiliki kualitas yang baik [16]. Mengingat kondisi fisik setiap orang di belahan dunia berbeda maka setiap negara mengeluarkan angka DRL yang berbeda bergantung kondisi fisik sebagian besar warga negaranya. Tingkat panduan dosis radiodagnostik untuk pemeriksaan thorax dewasa AP dan PA radiografi umum pada pasien dewasa sebagaimana tercantum dalam Keputusan Kepala Bapeten tahun 2021 tentang penetapan nilai DRL untuk modalitas sinar-X, CT-Scan, dan radiografi umum adalah sebesar 0.4 mGy.

### **SI-INTAN**

Divisi Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif (P2STPFRZR) Bapeten pada tahun 2014 meluncurkan sebuah aplikasi database berbasis web untuk melaporkan data dosis tiap pemeriksaan radiografi umum via online yang disebut dengan Sistem Informasi Data Dosis Pasien (SI-INTAN). SI-INTAN merupakan perwujudan dari upaya Bapeten dalam melaksanakan optimasi proteksi radiasi berupa survei dosis pasien untuk memperoleh nilai DRL. Pada tahun 2016 diluncurkan aplikasi SI-INTAN versi 2.0 yang dapat mengakomodasi lebih banyak modalitas radiodiganostik seperti CT-Scan,

fluoroskopi, radiografi umum, dan kedokteran nuklir diagnostik [17].

### CALDose\_X

CALDose\_X adalah perangkat lunak berbasis *EGSnrc Monte Carlo Simulation* yang dirintis pada tahun 2003 oleh Richard Kramer, seorang ilmuwan Brazil. Perangkat ini memungkinkan penghitungan INAK ( $K_i$ ) berdasarkan kurva keluaran tabung sinar-X dan ESAK ( $K_e$ ) dengan mengalikan INAK dengan faktor hamburan balik. Dosis serap untuk masing-masing organ dan jaringan serta dosis efektif ditentukan berdasarkan phantom dewasa dengan mengacu pada postur yang spesifik menggunakan *Coefficient Conversion (CC)* yang dinormalisasi untuk pemeriksaan yang sering dilakukan dalam diagnosis sinar-X. Fantom yang digunakan yaitu FAX06 dan MAX06. Dalam risetnya, CALDose\_X mengkombinasikan potensial tabung dan filtrasi mencapai 40 kombinasi, mulai 50-120 kVp (*kilovoltage peak*) dan filter aluminium 2,0-5,0 mm. 34 Proyeksi dan 10 pemeriksaan dapat dipilih oleh pengguna berdasarkan phantom terukur. Berdasarkan konsep perhitungan dosis organ yang sama untuk diagnostik sinar-X seperti versi sebelumnya, CALDose\_X 5.0 menambahkan CC untuk risiko radiologis kedalam daftar keluaran. Versi sebelumnya menampilkan risiko radiologis hanya untuk perhitungan dosis serap saja, sedangkan pada CALDose\_X 5.0 dapat mengukur resiko kanker bagi pasien individu setelah adanya prosedur radiologis. Resiko kanker ini dapat dihitung dengan mempersiapkan risiko spesifik pada usia, jenis kelamin, dan organ atau jaringan yang sudah terukur sebelumnya. CALDose\_X menampilkan dosis yang diserap organ dan jaringan dengan kesalahan statistik hingga 10% [18].

### METODE

Penelitian ini dilaksanakan bersama dengan Divisi P2STPFRZR Bapeten Republik Indonesia. Data yang digunakan

dalam penelitian merupakan data SI-INTAN keluaran radiasi serta data survei informasi dosis pasien pada pemeriksaan *thorax* pesawat sinar-X radiografi umum tahun 2021 dari rumah sakit daerah non-pendidikan bertipe B di Jawa timur dengan pesawat sinar-x bermerek Siemens. Rumah sakit ini dipilih karena memiliki data survei pemeriksaan *thorax* merata pada berbagai kategori usia dan teraudit rutin diantara data survei yang lainnya pada tahun 2021 dan dilengkapi dengan data keluaran radiasi pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi umum yang digunakan dalam proses diagnostik. Data survei rumah sakit yang terhimpun sebanyak 282 buah data pasien yang terdiri dari 140 buah data pada pemeriksaan *thorax* AP dan 142 data pada pemeriksaan *thorax* PA dengan kriteria inklusi penggunaan pada perangkat lunak CALDose\_X 5.0 diinformasikan pada Tabel 1. Berdasarkan proses seleksi sebagaimana kriteria inklusi pada Tabel 1, dari total populasi data survei pasien, hanya 187 buah data yang masuk kategori dan dijadikan sampel. Sebanyak 187 buah data tersebut terdiri dari 76 buah data proyeksi AP dan 111 buah data proyeksi PA.

**Tabel 1.** Kriteria Inklusi sampel penelitian untuk Proyeksi AP dan PA.

Kriteria	Proyeksi AP	Proyeksi PA
Usia (Tahun)	20-80	20-80
Tegangan (kV)	60-110	60-150
FFD (cm)	90-120	120-220

### Perhitungan pada CALDose\_X

Data keluaran radiasi pesawat sinar-X dengan jarak fokus ke detektor 100 cm terhimpun dalam Tabel 2. Dari data tersebut, dilakukan *plotting* menggunakan *power regresion* antara tegangan dan kerma ( $\mu\text{Gy}$ ) sehingga dapat diperoleh persamaan paparan radiasi (pers. 2) pada jarak 1-meter atau ditulis:

$$y(d) = 0,007P^{2,0706} \quad (5)$$

Data penelitian yang sudah terhimpun dan terseleksi untuk masing-masing proyeksi sesuai Tabel 1 kemudian dimasukkan ke dalam CALDose\_X 5.0. untuk menghitung besar nilai INAK, BSF dan ESAK-nya. Selain itu, dilakukan juga pencatatan proyeksi *Focus to Skin Distance* (FSD) pada masing-masing pasien sebagai input pada metode *tube output*. FSD pada proyeksi CALDose\_X ini digunakan karena merupakan proyeksi normalisasi yang didasarkan pada berat dan tinggi badan pasien (*Body mass Index/BMI*) dewasa dengan tebal pasien 23-28 cm [18].

**Tabel 2.** Pengukuran INAK pesawat sinar-X radiografi umum merek Siemens.

Arus waktu tabung (mAs)	Potensial (kV)	Kerma ( $\mu\text{Gy}$ )
20	50	23,7241
20	60	36,48565
20	70	49,86795
20	81	66,277
20	90	80,6035

### Perhitungan metode *Tube Output*

Metode ini dilakukan dengan menganalisis keluaran radiasi pesawat sinar X pada Tabel 1 dengan menggunakan persamaan 5 guna menghasilkan persamaan INAK dan ESAK sebagai berikut.

$$K_i = 0,007P^{2,706} \times P_{it} \times \left(\frac{100}{d_{FSD}}\right)^2 \quad (6)$$

$$K_e = K_i \times B \quad (7)$$

dengan  $K_i$  adalah *Incident Air Kerma* (Gy),  $P$  merupakan tegangan (kV),  $d_{FSD}$  merupakan jarak fokus ke permukaan kulit pasien (*Focus to Skin Distance/FSD*) (cm),  $P_{it}$  merupakan Arus-waktu tabung (mAs), dan  $B$  merupakan *Backscatter Factor* serta  $K_e$  adalah *Entrance Surface Air Kerma* (Gy).

Nilai ESAK diperoleh dengan mengalikan INAK dengan BSF menurut persamaan 7 dengan menggunakan nilai BSF sebesar 1,35. Nilai BSF sebesar 1,35 adalah asumsi umum yang digunakan di internasional terkait faktor hamburan balik

dari pasien [4] dan merupakan rekomendasi IAEA dalam publikasinya No.457 tahun 2007 [13]. Hal ini digunakan karena ketiadaan informasi akan dosis pengukuran TLD permukaan pasien dan dosis pengukuran TLD latar pada rumah sakit.

### Analisis Data

Uji normalisasi distribusi data dengan teknik Kolmogorov-Smirnov digunakan pada hasil perhitungan baik perhitungan CALDose\_X maupun metode *Tube Output*. Pada data berdistribusi normal, mean akan digunakan beserta standar deviasi. Sedangkan pada data berdistribusi tidak normal akan digunakan median yang berguna ketika membandingkan data antar kelompok [19]. Median diikuti oleh tingkat kesalahan mutlaknya atau *Median Absolute Deviation* (MAD) yang dituangkan dalam persamaan 8 [20].

$$MAD = \text{Median}|x_i - \text{Med}_i| \quad (8)$$

dimana MAD merupakan Median Absolute Deviation (MAD),  $x_i$  merupakan data ke- $i$  dan  $\text{Med}_i$  merupakan median dari  $i$  buah data. Berdasarkan kedua metode yang dilaksanakan dalam penelitian ini, yaitu dengan CALDose\_X dan *Tube Output* maka dilakukan uji signifikansi untuk menentukan signifikansi kedua data dan sebagai upaya validasi hasil perhitungan yang selanjutnya akan dibandingkan dengan DRL nasional dan internasional. Dilihat dari kategorinya, perhitungan CALDose\_X dan *Tube Output* menggunakan input (keluaran radiasi, arus waktu tabung, tegangan, dan *Focus to Film distance*) yang sama. Selain itu, pada metode tube output digunakan *Focus to Skin Distance* (FSD) hasil proyeksi CALDose\_X sehingga kedua metode ini saling berhubungan (*dependent*). Uji signifikansi untuk data berdistribusi normal (parametrik) digunakan jenis *Paired T-test* sedangkan data yang berdistribusi tidak normal (non-parameterik) digunakan jenis *Wilcoxon T-*

test atau *Sign T-test*. Pada penelitian ini uji statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan nilai signifikansi  $P \geq 0,05$  menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan [21,22].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

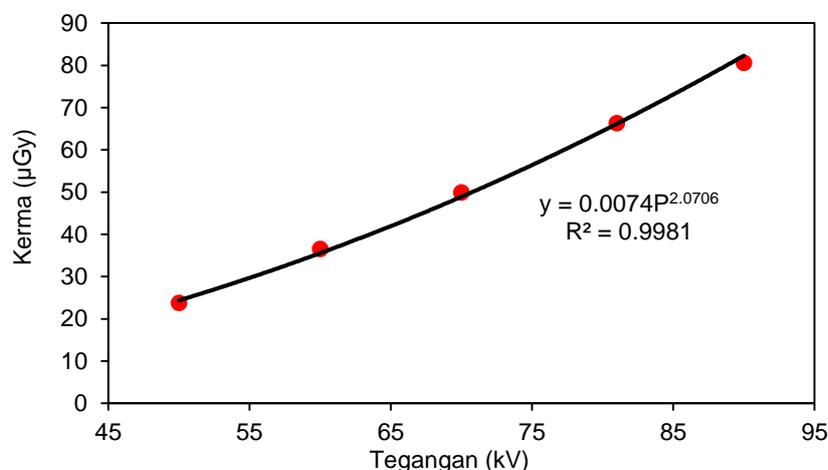
Data keluaran radiasi Rumah Sakit dalam Tabel 1 memberikan nilai kerma ( $\mu\text{Gy}$ ) cenderung naik seiring naiknya tegangan (kV) seperti tampak pada Gambar 4 dengan nilai *reliability* ( $R^2$ ) yang menunjukkan tingkat korelasi yang sangat tinggi antara tegangan dan kerma karena berada pada nilai *reliability* lebih dari atau sama dengan 0,97 ( $R^2 \geq 0,97$ ) [23,24]. Melalui regresi power ini pula diketahui bahwa persamaan keluaran radiasi pada jarak  $d$  ( $y(d)$ ) pada rumah sakit memenuhi persamaan 2. Ini sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa keluaran radiasi pada sinar-X diagnostik adalah proporsional terhadap kuadrat dari nilai tegangan (kV) [25].

### Perhitungan ESAK dengan CALDose\_X

Pada proyeksi AP, nilai ESAK minimum 0,16 mGy diperoleh pada parameter eksposi tegangan, arus-waktu tabung, dan FFD berturut-turut sebesar 60 kV, 2,89 mAs, dan 115 cm sehingga memberikan nilai INAK dan BSF berturut-turut 0,13 mGy, dan 1,3. Sedangkan nilai maksimum ESAK 0,85 mGy diperoleh pada tegangan,

arus-waktu tabung dan FFD masing-masing 60 kV, 12,801 mAs dan 107 cm yang memberikan nilai INAK dan BSF berturut-turut 0,65 mGy dan 1,31. Proyeksi FSD CALDose\_X menunjukkan beberapa kesamaan pada beberapa pasien, nilai FSD terendah yaitu 71 cm dan tertinggi sebesar 93 cm. Nilai BSF proyeksi CALDose\_X juga bervariasi yaitu dengan nilai terendah 1,23 dan tertinggi 1,39. Dilihat dari nilai ESAK maksimum dan minimum pada perhitungan dengan CALDose\_X, tegangan tidak berpengaruh karena besarnya sama, namun arus-waktu tabung yang tinggi dan FFD yang rendah menyebabkan nilai ESAK menjadi tinggi. Secara umum, nilai ESAK dipengaruhi oleh tegangan yang diberikan, semakin besar tegangan maka nilai BSF akan semakin besar [26].

Pada proyeksi PA, nilai ESAK minimum 0,09 mGy diperoleh pada parameter eksposi tegangan, arus-waktu tabung, dan FFD berturut-turut sebesar 62 kV, 2,8998 mAs, dan 150 cm yang memberikan nilai INAK, dan BSF berturut-turut 0,07 mGy, dan 1,31. Sedangkan nilai maksimum ESAK 2,92 mGy diperoleh pada parameter eksposi tegangan, arus-waktu tabung dan FFD masing-masing 125 kV, 28,2 mAs dan 180 cm yang memberikan nilai INAK dan BSF berturut-turut 1,98 mGy dan 1,48.



**Gambar 4.** Grafik hubungan tegangan (kV) terhadap Kerma ( $\mu\text{Gy}$ ).

Proyeksi FSD CALDose\_X menunjukkan beberapa kesamaan pada beberapa pasien, nilai FSD terendah yaitu 99 cm dan tertinggi sebesar 152 cm. Faktor eksposi berpengaruh terhadap nilai INAK. ESAK meningkat seiring meningkatnya INAK dan BSF. Nilai BSF ini dipengaruhi oleh tegangan yang digunakan tinggi tegangan maka nilai BSF akan semakin tinggi [26].

### Perhitungan ESAK dengan metode Tube Output

Perhitungan ESAK pada proyeksi AP menghasilkan nilai minimum 0,16 mGy dengan nilai INAK 0,12 pada faktor eksposi FSD, tebal pasien, arus-waktu tabung dan tegangan yaitu berturut-turut 92 cm, 23 cm, 2,89 mAs dan 60 kV. Nilai maksimum diperoleh sebesar 0,87 mGy dengan nilai INAK 0,65 mGy pada parameter eksposi (FFD, tebal pasien, arus-waktu tabung dan tegangan) berturut-turut 84 cm, 23 cm, 12,801 mAs dan 60 kV.

Perhitungan ESAK pada proyeksi PA memberikan hasil bervariasi yang disebabkan oleh perbedaan faktor eksposi pada masing-masing pasien yang berbeda. Nilai minimum 0,09 mGy dihasilkan dari nilai INAK 0,07 mGy dan faktor eksposi FSD, tebal pasien, arus-waktu tabung dan tegangan yaitu berturut-turut 127 cm, 23 cm, 2,8998 mAs dan 62 kV. Nilai maksimum ESAK diperoleh sebesar 2,68 mGy dengan nilai INAK 1,98 mGy pada faktor eksposi (FFD, tebal pasien, arus-waktu tabung dan tegangan) yaitu berturut-turut 152 cm, 28 cm, 28,2 mAs dan 125 kV.

Berdasarkan nilai minimum dan maksimum dari kedua proyeksi penyinaran *thorax*, dapat dianalisis bahwa perbedaan parameter eksposi mempengaruhi INAK yang dihasilkan. BSF tidak berpengaruh terhadap hasil ESAK karena pada metode ini digunakan nilai BSF tetap 1,35. Nilai ESAK akan cenderung meningkat seiring meningkatnya INAK. Nilai INAK juga dipengaruhi oleh besarnya faktor ekposi (tegangan, arus waktu tabung, dan jarak

penyinaran). Pada nilai minimum dan maksimum ini, diketahui bahwa nilai arus-waktu tabung yang tinggi menyebabkan nilai ESAK juga semakin tinggi.

### Komparasi nilai ESAK

Nilai ESAK pemeriksaan thorax menggunakan proyeksi AP dan PA pada perhitungan CALDose\_X dan metode *Tube Output* berada pada distribusi tidak normal ( $P < 0.001$ ). Hal ini membuat nilai ESAK dihitung menggunakan median dengan MAD sebesar  $0,34 \pm 0,055$  mGy pada proyeksi AP dan  $,31 \pm 0,132$  mGy pada proyeksi PA perhitungan CALDose\_X. Sedangkan, pada metode *Tube Output*, proyeksi AP memberikan nilai ESAK  $0,33 \pm 0,059$  mGy dan proyeksi PA memberikan nilai ESAK  $,30 \pm 0,126$  mGy.

Kedua metode pengukuran ESAK pada proyeksi AP dan PA memiliki selisih nilai sebesar 0,01 mGy. Perbedaan nilai ESAK tersebut disebabkan karena nilai *Backscatter Factor* kedua metode yang berbeda. Hal ini karena pada metode *Tube Output*, digunakan BSF 1,35 sesuai rekomendasi IAEA dalam publikasi no. 457 sedangkan perhitungan CALDose\_X memproyeksikan BSF variatif bergantung faktor eksposi setiap pasien. Uji Wilcoxon dari kedua metode pada kedua proyeksi menunjukkan hasil perhitungan ESAK yang tidak berbeda secara signifikan ( $P > 0,05$ ) sehingga kedua metode dapat digunakan sebagai pembanding DRL.

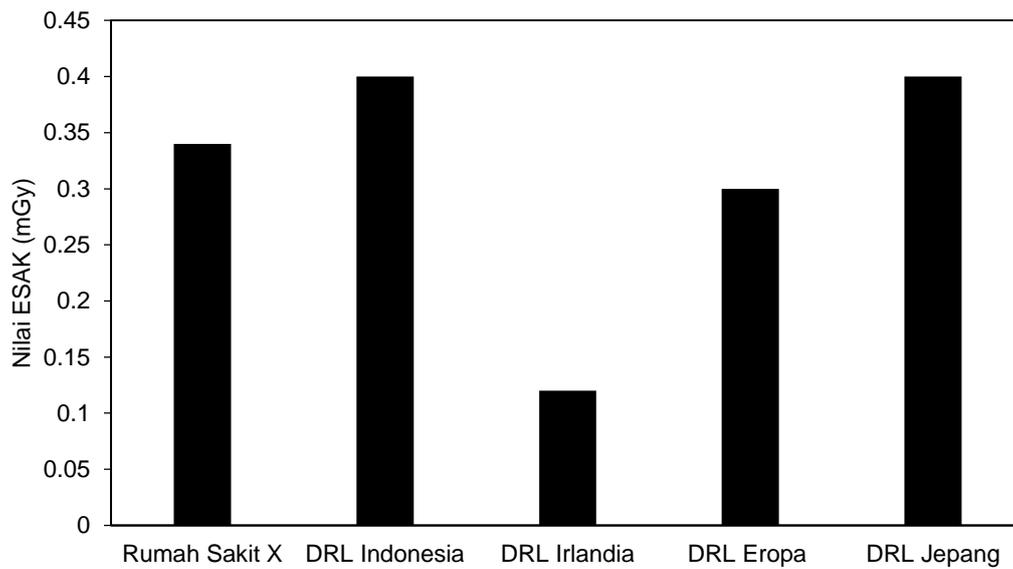
### Komparasi ESAK CALDose\_X rumah sakit dan DRL

Gambar 5 menunjukkan histogram perhitungan ESAK rumah sakit proyeksi AP dengan DRL. Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai ESAK hasil perhitungan CALDose\_X pada pemeriksaan thorax AP rumah sakit sebesar 0,34 mGy yang berada dibawah nilai DRL Indonesia [27] dan DRL Jepang [28,29] untuk pemeriksaan thorax yaitu sebesar 0,4 mGy. Namun, nilai ESAK rumah sakit lebih tinggi daripada DRL

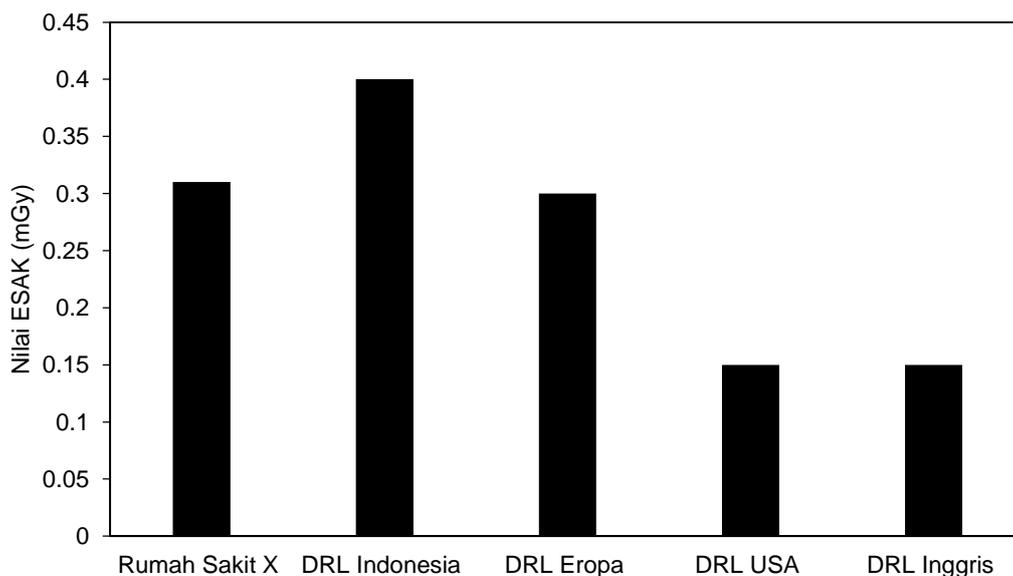
Irlandia (0.12 mGy) yang dikeluarkan oleh *Health Information and Quality Authority* tahun 2021 [30], dan DRL Eropa (0,3 mGy) yang dikeluarkan oleh *European commission* dalam *European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging* tahun 2021 [31].

Pada pemeriksaan thorax PA rumah sakit, nilai ESAK dengan perhitungan CALDose\_X adalah sebesar 0,31 mGy. Nilai ESAK tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai DRL Indonesia

[27] sebesar 0,40 mGy lebih tinggi dari DRL Eropa (0,30 mGy) yang dikeluarkan oleh *European commission* dalam *European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging* (2021) [31], DRL Amerika (0,15 mGy) yang dikeluarkan oleh *American Association of Physicists in Medicine* (2018) [32] dan DRL Inggris (0,15 mGy) yang dikeluarkan oleh *Public Health England* (2021) [33]. Perbandingan nilai DRL tersebut disajikan dalam Gambar 6.



**Gambar 5.** Histogram perhitungan ESAK rumah sakit proyeksi AP dengan DRL dari berbagai negara.



**Gambar 6.** Histogram perhitungan ESAK rumah sakit proyeksi PA dengan DRL dari berbagai negara.

**KESIMPULAN**

Perbedaan nilai ESAK pada pemeriksaan thorax radiografi umum proyeksi AP dan PA di rumah sakit dengan DRL internasional memang tidak bisa dipungkiri karena pada prosedur radiografi pada tiap-tiap negara yang berbeda. Tingginya nilai ESAK pada rumah sakit dapat dikaitkan dengan sistem pencitraan yang digunakan dan bentuk badan pasien. Secara umum, nilai ESAK pada pemeriksaan thorax radiografi umum proyeksi AP yang dihitung dengan CALDose\_X untuk rumah sakit berada dibawah nilai DRL Indonesia. Dengan demikian, hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa pesawat sinar-X yang digunakan pada rumah sakit berada pada kategori optimum untuk digunakan di Indonesia.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Vaiserman A, Koliada A, Zabuga O, Socol Y. Health Impacts of Low-Dose Ionizing Radiation: Current Scientific Debates and Regulatory Issues. *Dose Response*. 2018;16(3):1559325818796331.
- [2] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2020 Tentang Keselamatan Radiasi pada Penggunaan Pesawat Sinar-X dalam Radiologi Diagnostik Dan Intervensional*. Jakarta: Bapeten; 2020.
- [3] Setiawan NA. Radiation Dose Estimation With CALDose\_X Version 5.0 In Radiological Laboratory Department Of Radiodiagnostic and Radiotherapy Technique. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*. 2019;5(1):1-6.
- [4] Theiler T, Ott B, Treier R, Trueb PR. *Diagnostic Reference Levels (DRLs) in projection radiography*. Federal Office of Public Health, Bern, Australia; 2014.
- [5] Cember H & Johnson TE. *Introduction to Health Physics*. 4th Ed. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc; 2009.
- [6] Pearce EC. *Anatomi dan fisiologi untuk paramedis*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama; 2009.
- [7] Whitley AS, Sloane C, Hoadley G, Moore AD. *Clark's Positioning in Radiography, 12<sup>th</sup> Ed*. London: Arnold Publishers; 2005.
- [8] International Atomic Energy Agency (IAEA). *Safety Glossary, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection*. Vienna: IAEA; 2018.
- [9] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Report, Volume I, New York: UNSCEAR; 2008.
- [10] Hassan MA, Gaber MH, Esmat E, Farag HI, Eissa HM. Standard water phantom backscatter factors for medium energy x-rays. *Romanian Journal of Biophysics*. 2005;14(1-4):69-79.
- [11] European Commission. *Radiation Protection No. 109: Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures*. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 1999
- [12] Manuaba IBG. *Pengukuran Entrance Surface Dose (ESD) pada Pemeriksaan Dada Computed Radiography (CR) dengan Beberapa Metoda Pengukuran*. Tesis. Depok: Universitas Indonesia; 2010.
- [13] International Atomic Energy Agency (IAEA). *Dosimetry In Diagnostic Radiology: An International Code of Practice* in Technical reports series No 457. Vienna: IAEA; 2007.
- [14] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan*

- Intervensional*, Pub. L. No. 8, 1. Jakarta: Bapeten; 2011.
- [15] Vennart J. The 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *J Radiol Prot.* 1991;9(3):199-203.
- [16] Walker C, van der Putten W. Patient dosimetry and a novel approach to establishing Diagnostic Reference Levels in dental radiology. *Phys Med.* 2012;28(1):7-12.
- [17] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). *Manual Penggunaan Si-Intan Ver. 2.0.* Jakarta: Bapeten; 2018.
- [18] Kramer R, Khoury HJ, Vieira JW. CALDose\_X-a software tool for the assessment of organ and tissue absorbed doses, effective dose and cancer risks in diagnostic radiology. *Phys Med Biol.* 2008;53(22):6437-6459.
- [19] Mishra P, Pandey CM, Singh U, Gupta A, Sahu C, Keshri A. Descriptive statistics and normality tests for statistical data. *Ann Card Anaesth.* 2019;22(1):67-72.
- [20] Rousseeuw PJ & Croux C. Alternatives to Median Absolute Deviation. *Journal of the American Statistical Association.* 1993;88(424):1273-1283.
- [21] Ghasemi A, Zahediasl S. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. *Int J Endocrinol Metab.* 2012;10(2):486-489.
- [22] Jasak Z. Benford's Law and Wilcoxon Test. *Journal of Mathematical Sciences: Advances and Applications.* 2018;52:69-81.
- [23] Gliem JA & Gliem RR. *Calculating, interpreting, and reporting Cronbach's alpha reliability coefficient for Likert-type scales.* USA: IUPUI ScholarWorks; 2003
- [24] Tsapaki V, Tsalafoutas IA, Chinofoti I, et al. Radiation doses to patients undergoing standard radiographic examinations: a comparison between two methods. *Br J Radiol.* 2007;80(950):107-112.
- [25] Bushong S. *Radiologic Science for Technologists 10th Edition.* Texas: Mosby; 2012.
- [26] Irsal M, Hidayanto E, Arifin Z. Analysis of The Effect Exposure Factors at The Entrance Surface Air Kerma (ESAK). *Youngster Physics Journal.* 2014;3(4):271-278.
- [27] Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten). *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor: 1211/K/V/2021 tentang Penetapan Nilai Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level) untuk Modalitas Sinar-X Ct Scan dan Radiografi Umum.* Jakarta: Bapeten; 2021.
- [28] Japan Society of Medical Physics. *National Diagnostic Reference Levels in Japan (2020); 2021.* [Online]. Accessed: 15 November 2021
- [29] Ministry of Environment Government of Japan. *Booklet Provide Basic Information Regarding Health Effects of Radiation 1st Edition (JCN1000012110001).* Japan; 2016.
- [30] Health Information and Quality Authority.. *Guidance On The Establishment, Use and Review of Diagnostic Reference Levels for Medical Exposure to Ionising Radiation.* Irlandia; 2021
- [31] European Commission. *Radiation Protection No. 195 European Study on Clinical (EUCLID) Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging.* Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021.
- [32] American Association of Physicists in Medicine (AAPM). *Practice Guideline Parameter for Diagnostic Reference Levels and Achievable Doses in Medical X-Ray Imaging.* USA; 2018. Accessed januari 2, 2021

[33] Public Health England. *National Diagnostic Reference Levels (NDRLs) from 19 August 2019; 2021.*

[Online]. Accessed: 13 November 2021.