

PENENTUAN *DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL* (DRL) PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI THORAKS PEDIATRIK MENGGUNAKAN METODE *ENTRANCE SURFACE DOSE* (ESD) DI RSUD DR. SOESELO KABUPATEN TEGAL

Noor Syifa Aini¹, Ildsia Maulidya Mar'athus Nasokha², Ike Ade Nur Liscyaningsih³
Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia^{1,2,3}
email: noor.syifa.aini@gmail.com

Diterima: 6/09/2026; Direvisi: 18/09/2026; Diterbitkan: 20/09/2026

ABSTRAK

Pemeriksaan radiografi thoraks merupakan salah satu pemeriksaan radiografi yang rutin dilakukan pada pasien pediatrik di Instalasi Radiologi RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Namun, hingga saat ini belum tersedia *Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal yang dapat digunakan sebagai acuan internal dalam evaluasi dosis radiasi pasien. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan DRL lokal pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik menggunakan metode *Entrance Surface Dose* (ESD) serta mengevaluasi kesesuaiannya dengan acuan nasional dan literatur internasional. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yang dilakukan pada Desember 2025–April 2026 di Instalasi Radiologi RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Sampel penelitian terdiri atas 20 pasien pediatrik usia 5–14 tahun yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Data diperoleh dari parameter eksposi pemeriksaan radiografi thoraks proyeksi posteroanterior menggunakan sistem Digital Radiography. Estimasi dosis dilakukan melalui perhitungan *Incident Air Kerma* (INAK) berbasis tube output yang kemudian dikonversi menjadi ESD menggunakan faktor hambur balik (*Backscatter Factor*/BSF). Nilai DRL lokal ditentukan berdasarkan persentil ke-75 distribusi ESD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ESD berada pada rentang 0,07251–0,16406 mGy dengan nilai persentil ke-75 sebesar 0,12992 mGy sebagai DRL lokal pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Nilai tersebut memberikan gambaran karakteristik dosis pada praktik radiografi thoraks pediatrik berbasis Digital Radiography dan dapat digunakan sebagai acuan internal untuk pemantauan dosis serta evaluasi protokol pemeriksaan. Perbandingan dengan acuan nasional perlu dilakukan secara hati-hati karena BAPETEN menggunakan parameter Entrance Surface Air Kerma (ESAK), sedangkan penelitian ini menggunakan ESD.

Kata Kunci: *Diagnostic Reference Level, Entrance Surface Dose, Radiografi Thoraks Pediatric, High kV, Proteksi Radiasi*

ABSTRACT

Chest radiography is one of the most frequently performed radiographic examinations in pediatric patients at the Radiology Installation of RSUD dr. Soeselo Tegal Regency. However, the facility currently does not have a local *Diagnostic Reference Level* (DRL) that can be used as an internal reference for patient radiation dose evaluation. This study aimed to determine the local DRL for pediatric chest radiography using the *Entrance Surface Dose* (ESD) method and to evaluate its conformity with national references and international literature. This study employed a descriptive quantitative design conducted from December 2025 to April 2026 at the Radiology Installation of

RSUD dr. Soeselo Tegal Regency. The study sample consisted of 20 pediatric patients aged 5–14 years selected using a purposive sampling technique. Data were obtained from exposure parameters of posteroanterior chest radiography examinations performed using a Digital Radiography system. Dose estimation was performed by calculating Incident Air Kerma (INAK) based on tube output, which was subsequently converted into ESD using a Backscatter Factor (BSF). The local DRL value was determined based on the 75th percentile of the ESD distribution. The results showed that the ESD values ranged from 0.07251 to 0.16406 mGy, with a 75th percentile value of 0.12992 mGy as the local DRL for pediatric chest radiography at RSUD dr. Soeselo Tegal Regency. This value represents the dose characteristics of pediatric chest radiography using Digital Radiography and can be used as an internal reference for dose monitoring and examination protocol evaluation. Comparison with national references should be interpreted carefully because BAPETEN uses the Entrance Surface Air Kerma (ESAK) parameter, whereas this study uses ESD.

Keywords: *Diagnostic Reference Level, Entrance Surface Dose, Pediatric Chest Radiography, High kV, Radiation Protection*

PENDAHULUAN

Radiografi thoraks merupakan salah satu pemeriksaan radiologi konvensional yang banyak digunakan untuk mengevaluasi paru, jantung, mediastinum, dan struktur tulang thoraks. Pada pasien pediatrik, pemeriksaan ini memiliki peran penting karena dapat dilakukan secara cepat dengan dosis radiasi yang relatif lebih rendah dibandingkan modalitas lain seperti computed tomography. Namun, optimasi dosis pada pasien pediatrik menjadi perhatian khusus karena karakteristik anatomi dan fisiologi anak berbeda dengan pasien dewasa. Ukuran tubuh yang lebih kecil, perkembangan organ, serta kondisi pasien dapat memengaruhi pemilihan teknik positioning dan parameter eksposi yang digunakan selama pemeriksaan (Pengpan et al., 2022). Oleh karena itu, evaluasi dosis berdasarkan kondisi pasien dan karakteristik fasilitas diperlukan untuk mendukung penerapan proteksi radiasi yang optimal.

Pengendalian paparan radiasi pada pemeriksaan radiologi diagnostik merupakan bagian penting dalam penerapan prinsip keselamatan radiasi. Bushong (2021) menjelaskan bahwa proteksi radiasi bertujuan untuk mengendalikan paparan tanpa mengurangi manfaat diagnostik pemeriksaan. Pada pasien pediatrik, perhatian terhadap dosis radiasi menjadi lebih penting karena jaringan tubuh masih mengalami perkembangan dan memiliki sensitivitas biologis yang berbeda dibandingkan populasi dewasa. Bos et al. (2022) menjelaskan bahwa evaluasi dosis pada kelompok pediatrik diperlukan untuk mendukung penerapan prinsip optimasi, sedangkan International Commission on Radiological Protection (ICRP) menempatkan justifikasi dan optimasi sebagai dasar dalam proteksi radiasi medik untuk memperoleh kualitas diagnostik yang memadai dengan paparan radiasi serendah mungkin yang dapat dicapai (Vaño et al., 2017). Namun, penerapan optimasi tidak hanya bergantung pada prinsip proteksi radiasi, tetapi juga membutuhkan data dosis pasien yang sesuai dengan kondisi fasilitas karena variasi teknologi, protokol pemeriksaan, dan karakteristik pasien dapat menyebabkan perbedaan dosis antar fasilitas (Nasokha et al., 2025).

Salah satu instrumen yang digunakan untuk mendukung proses optimasi dosis adalah *Diagnostic Reference Level* (DRL). DRL bukan merupakan batas dosis individual pasien, tetapi merupakan tingkat investigasi yang digunakan untuk membantu fasilitas pelayanan kesehatan

mengidentifikasi praktik dengan dosis yang tidak sesuai dan mengevaluasi kemungkinan perbaikan protokol pemeriksaan (Vaño et al., 2017). Dalam radiografi diagnostik, beberapa parameter dosimetri dapat digunakan dalam penentuan DRL, antara lain *Incident Air Kerma* (INAK), *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK), dan *Entrance Surface Dose* (ESD). International Atomic Energy Agency (IAEA) menjelaskan bahwa estimasi dosis permukaan dapat dilakukan secara tidak langsung menggunakan karakteristik keluaran tabung sinar-X dan parameter eksposi pemeriksaan rutin (Lackay, 2022). Selain itu, pemanfaatan data uji kesesuaian pesawat dan parameter teknis pemeriksaan dapat mendukung pemantauan dosis pasien sebagai bagian dari program jaminan mutu radiologi (Putra et al., 2021).

Di Indonesia, penerapan evaluasi DRL mengacu pada pedoman teknis yang diterbitkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau *Diagnostic Reference Level* (DRL) Nasional tahun 2019 mencantumkan nilai acuan untuk pemeriksaan radiografi thoraks proyeksi posteroanterior pada pasien pediatrik usia 5–14 tahun menggunakan *parameter Entrance Surface Air Kerma* (ESAK) sebesar 0,7 mGy (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2019). Selanjutnya, Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 1211/K/V/2021 menetapkan Indonesian *Diagnostic Reference Level* (I-DRL) sebagai bagian dari upaya pengembangan acuan dosis nasional (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2021). Meskipun demikian, nilai DRL nasional belum sepenuhnya menggambarkan variasi praktik pada tingkat fasilitas karena perbedaan karakteristik pasien, protokol pemeriksaan, dan performa peralatan. Oleh karena itu, pengembangan DRL lokal tetap diperlukan sebagai acuan internal yang lebih spesifik sesuai kondisi masing-masing fasilitas.

Sejumlah penelitian telah menunjukkan adanya variasi dosis antar fasilitas dan pentingnya penyusunan DRL berdasarkan data lokal. Dellie (2022) melaporkan DRL lokal *Entrance Surface Dose* (ESD) pada *radiografi thoraks pediatrik* di Addis Ababa dengan rentang 0,09 - 0,17 mGy, yang menunjukkan perlunya evaluasi teknik pemeriksaan berdasarkan karakteristik pasien dan fasilitas. Pada konteks Indonesia, Irsal et al. (2023) mengevaluasi DRL thoraks PA berdasarkan basis data BAPETEN, sedangkan Auliala (2024) melakukan penentuan DRL lokal thoraks PA pada radiografi umum. Latifah et al. (2020) menunjukkan bahwa pendekatan tube output dapat digunakan untuk mengestimasi ESD berdasarkan parameter eksposi rutin pada pemeriksaan radiografi umum. Selain itu, evaluasi DRL pada pemeriksaan pediatrik lain oleh Nasokha et al. (2025) menunjukkan bahwa penggunaan parameter dosimetri dapat mendukung peningkatan keselamatan radiasi. Namun, penelitian yang secara khusus mengevaluasi DRL lokal *radiografi thoraks pediatrik* usia 5–14 tahun menggunakan metode ESD berbasis tube output pada fasilitas Digital Radiography di Indonesia masih terbatas.

Perkembangan teknologi Digital Radiography (DR) memberikan keuntungan berupa rentang dinamis detektor yang luas dan fleksibilitas dalam proses pascaproses citra. Namun, karakteristik tersebut tidak secara otomatis menjamin rendahnya dosis pasien karena peningkatan paparan dapat terjadi tanpa perubahan kualitas citra yang terlihat secara langsung. Pengpan et al. (2022) menjelaskan bahwa optimasi pada sistem digital harus mempertimbangkan karakteristik detektor, faktor eksposi, dan indikator kualitas citra. Teknik high-kV dengan mAs relatif rendah sering digunakan pada radiografi thoraks untuk mempertahankan penetrasi objek sekaligus mengendalikan jumlah radiasi yang diberikan kepada pasien. Pendekatan optimasi menggunakan

teknik high-kV pada radiografi thoraks telah dibahas dalam penelitian Disha et al. (2022), yang menunjukkan pentingnya evaluasi parameter eksposi dalam mendukung optimasi dosis pasien. Dengan demikian, evaluasi dosis pada fasilitas DR tertentu perlu dilakukan karena karakteristik sistem pencitraan dan protokol pemeriksaan dapat memengaruhi distribusi dosis yang diterima pasien.

Berdasarkan data Instalasi Radiologi RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal periode Januari–Maret 2026, pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik dilakukan secara rutin. Namun, hingga saat ini belum tersedia DRL lokal yang dapat digunakan sebagai tolok ukur internal dalam evaluasi dosis pasien pada pemeriksaan tersebut. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan informasi mengenai profil dosis radiografi thoraks pediatrik pada fasilitas Digital Radiography dengan karakteristik pasien dan protokol pemeriksaan tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai DRL lokal pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik proyeksi posteroanterior menggunakan metode *Entrance Surface Dose* (ESD) di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal serta mengevaluasi kesesuaiannya terhadap acuan nasional dan literatur internasional. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar awal dalam pelaksanaan audit dosis, pemantauan dosis pasien, dan evaluasi konsistensi protokol pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif yang menggunakan data sekunder dari pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik di Instalasi Radiologi RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Pengumpulan data dilakukan selama periode Desember 2025 hingga April 2026 pada pasien pediatrik yang menjalani pemeriksaan radiografi thoraks proyeksi posteroanterior menggunakan sistem Digital Radiography. Penelitian ini telah memperoleh persetujuan etik dari Komite Etik Penelitian Kesehatan. Seluruh data pasien yang digunakan dalam penelitian ini telah dianonimkan untuk menjaga kerahasiaan dan privasi subjek penelitian. Populasi penelitian mencakup seluruh pasien pediatrik yang menjalani pemeriksaan radiografi thoraks selama periode penelitian. Sampel penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Sebanyak 20 pasien pediatrik usia 5–14 tahun yang memenuhi kriteria penelitian digunakan sebagai sampel penelitian.

Jumlah sampel sebanyak 20 pasien ditentukan berdasarkan ketersediaan data pemeriksaan selama periode penelitian yang memenuhi kelengkapan parameter eksposi dan karakteristik pasien yang diperlukan untuk estimasi dosis. Dalam penelitian DRL lokal, jumlah sampel tidak ditujukan untuk menggambarkan populasi pediatrik secara umum, tetapi untuk memperoleh distribusi dosis pada suatu fasilitas berdasarkan kondisi pemeriksaan rutin. Sesuai dengan konsep DRL yang direkomendasikan oleh ICRP Publication 135, DRL ditentukan berdasarkan distribusi dosis pasien pada suatu praktik radiologi dan digunakan sebagai alat investigasi untuk mengevaluasi variasi dosis serta mendukung optimasi (Vaño et al., 2017). Oleh karena itu, data dari 20 pasien dalam penelitian ini digunakan untuk membentuk distribusi Entrance Surface Dose (ESD) dan menentukan nilai persentil ke-75 sebagai DRL lokal pada kondisi fasilitas penelitian. Meskipun demikian, penelitian lanjutan dengan jumlah sampel yang lebih besar dan periode pengumpulan data yang lebih panjang diperlukan untuk memperkuat validasi nilai DRL lokal.

Kriteria inklusi meliputi pasien usia 5–14 tahun yang menjalani pemeriksaan radiografi thoraks proyeksi posteroanterior menggunakan sistem Digital Radiography, dengan data parameter eksposi lengkap berupa kVp, mAs, Focus Film Distance (FFD), serta karakteristik pasien yang tersedia. Kriteria eksklusi meliputi data pemeriksaan yang tidak lengkap, pemeriksaan dengan repeat exposure, dan pemeriksaan dengan teknik nonstandar yang berpotensi memengaruhi hasil evaluasi dosis. Pemilihan kelompok usia 5–14 tahun dilakukan karena kelompok tersebut sesuai dengan kelompok pediatrik yang digunakan dalam pedoman DRL nasional BAPETEN (2019). Selain itu, kelompok usia tersebut memiliki karakteristik pemeriksaan yang berbeda dibandingkan pasien dewasa sehingga memerlukan evaluasi dosis yang lebih spesifik.

Variabel yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi tegangan tabung (kVp), arus-waktu tabung (mAs), Focus Film Distance (FFD), ketebalan objek, Focus Skin Distance (FSD), tube output, *Incident Air Kerma* (INAK), *Entrance Surface Dose* (ESD), dan DRL lokal. Nilai FSD ditentukan berdasarkan geometri pemeriksaan sebagai selisih antara FFD dan ketebalan objek pasien. Tube output diperoleh dari data uji kesesuaian pesawat sinar-X pada beberapa nilai kVp yang tersedia. Pemanfaatan data uji kesesuaian pesawat sebagai bagian dari pemantauan dosis pasien telah digunakan dalam evaluasi radiografi umum dan dapat mendukung program jaminan mutu radiologi (Putra et al., 2021). Hubungan antara nilai kVp dan tube output kemudian dimodelkan menggunakan regresi polinomial berdasarkan data pengukuran yang tersedia.

Persamaan regresi tube output yang diperoleh dalam penelitian ini adalah $y = 0,0059x^2 + 0,1408x - 8,8515$, dengan y sebagai tube output dalam satuan $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ dan x sebagai nilai tegangan tabung dalam satuan kVp. Berdasarkan persamaan tersebut, substitusi nilai x sebesar 110 menghasilkan estimasi tube output sebesar $78 \mu\text{Gy}/\text{mAs}$ atau $0,078 \text{ mGy}/\text{mAs}$. Nilai tube output tersebut digunakan untuk menghitung *Incident Air Kerma* (INAK) pada setiap pasien berdasarkan parameter eksposi yang digunakan selama pemeriksaan. Pendekatan estimasi dosis menggunakan tube output dan parameter eksposi rutin merupakan metode yang dapat digunakan untuk memperoleh estimasi dosis pasien pada pemeriksaan radiologi diagnostik (Lackay, 2022; Dellie, 2022).

INAK dihitung secara tidak langsung menggunakan nilai tube output, mAs, dan faktor koreksi jarak berdasarkan prinsip inverse square law. Persamaan yang digunakan adalah $\text{INAK} = \text{TO} \times \text{mAs} \times (\text{FSD}/\text{FFD})^2$. Nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) diperoleh melalui perkalian antara nilai INAK dengan faktor hambur balik atau *Backscatter Factor* (BSF). Pada penelitian ini digunakan nilai BSF sebesar 1,35 untuk memperhitungkan kontribusi radiasi hambur balik dari tubuh pasien terhadap dosis pada permukaan masuk berkas sinar-X. Nilai BSF 1,35 digunakan berdasarkan pendekatan dosimetri radiografi diagnostik yang umum digunakan dalam konversi kerma udara menjadi estimasi dosis permukaan pasien. Konsep penggunaan BSF dalam perhitungan ESD mengacu pada prinsip dosimetri radiologi diagnostik yang dijelaskan oleh IAEA (2007) dan Bushberg et al. (2012).

Persamaan yang digunakan untuk menghitung ESD adalah $\text{ESD} = \text{INAK} \times \text{BSF}$. Estimasi ESD dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan tidak langsung karena pengukuran dosis langsung pada setiap pasien menggunakan dosimeter tidak dilakukan. Pendekatan berbasis tube output memiliki keterbatasan karena hasil estimasi bergantung pada akurasi data keluaran

tabung, parameter eksposi yang digunakan, dan kesesuaian model perhitungan dengan kondisi klinis sebenarnya. Selain itu, nilai tube output pada 110 kVp diperoleh melalui pendekatan regresi berdasarkan data pengukuran yang tersedia sehingga kemungkinan terdapat ketidakpastian pada nilai estimasi. Oleh karena itu, hasil DRL lokal pada penelitian ini digunakan sebagai *baseline* awal untuk evaluasi dosis dan masih memerlukan validasi lebih lanjut melalui pengukuran langsung serta evaluasi kualitas citra diagnostik.

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan menghitung nilai minimum, maksimum, rerata, median, dan persentil ke-75 dari distribusi nilai ESD. Nilai DRL lokal ditentukan berdasarkan persentil ke-75 distribusi dosis pasien sesuai dengan rekomendasi ICRP Publication 135 (Vaño et al., 2017). Nilai DRL lokal yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan parameter dosimetri yang sebanding serta acuan nasional yang tersedia. Perbandingan dengan nilai acuan nasional dilakukan secara hati-hati karena penelitian ini menggunakan *parameter Entrance Surface Dose* (ESD), sedangkan pedoman BAPETEN (2019) menggunakan *parameter Entrance Surface Air Kerma* (ESAK). Oleh karena itu, perbedaan nilai numerik antara kedua parameter tidak dianggap sebagai perbandingan langsung karena ESD dan ESAK memiliki definisi dosimetri yang berbeda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Parameter eksposi dan estimasi *Incident Air Kerma*(INAK)

Seluruh pemeriksaan *radiografi thoraks pediatrik* pada penelitian ini dilakukan menggunakan sistem *Digital Radiography* (DR) dengan teknik *proyeksi posteroanterior* (PA). Berdasarkan hasil pengumpulan data terhadap 20 pasien pediatrik, seluruh pemeriksaan menggunakan tegangan tabung sebesar 110 kVp dengan *Focus Film Distance* (FFD) sebesar 180 cm. Nilai arus-waktu tabung (mAs) yang digunakan berada pada rentang 0,8–1,9 mAs, sedangkan ketebalan objek pasien berada pada rentang 12–18 cm. Nilai *Focus Skin Distance* (FSD) yang diperoleh dari geometri pemeriksaan berada pada rentang 162–168 cm.

Berdasarkan data tube output hasil regresi polinomial, diperoleh nilai tube output sebesar 0,078 mGy/mAs pada tegangan 110 kVp. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung *Incident Air Kerma* (INAK) pada masing-masing pasien berdasarkan parameter mAs dan faktor koreksi jarak. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai INAK berada pada rentang 0,0537–0,1215 mGy. Variasi nilai INAK terutama dipengaruhi oleh perbedaan nilai mAs dan variasi FSD akibat perbedaan ketebalan objek pasien. Hasil perhitungan INAK masing-masing pasien disajikan pada *Supplementary Table 1* untuk memberikan informasi rinci mengenai distribusi parameter eksposi dan hasil estimasi dosis individu.

Tabel 1. Parameter eksposi dan hasil perhitungan *Incident Air Kerma* (INAK)

kVp	mAs	FFD (cm)	Ketebalan (cm)	Tube output (mGy/mAs)	FSD (cm)	INAK (mGy)
110	1,2	180	13	0,078	167	0,0805
110	1,6	180	18	0,078	162	0,1010
110	1,4	180	16	0,078	164	0,0906

110	1,4	180	16	0,078	164	0,0906
110	1,8	180	13	0,078	167	0,1208
110	1,2	180	13	0,078	167	0,0805
110	1,4	180	15	0,078	165	0,0917
110	1,5	180	17	0,078	163	0,0959
110	1,5	180	12	0,078	168	0,1019
110	1,5	180	16	0,078	164	0,0971
110	1,2	180	13	0,078	167	0,0805
110	1,2	180	12	0,078	168	0,0815
110	1,1	180	13	0,078	167	0,0738
110	1,0	180	12	0,078	168	0,0679
110	0,8	180	13	0,078	167	0,0537
110	1,9	180	17	0,078	163	0,1215
110	1,3	180	17	0,078	163	0,0831
110	1,3	180	13	0,078	167	0,0872
110	1,4	180	14	0,078	166	0,0928
110	1,4	180	12	0,078	168	0,0951

Berdasarkan Tabel 1, seluruh pemeriksaan menggunakan parameter kVp dan FFD yang sama, sehingga variasi nilai INAK terutama dipengaruhi oleh perubahan mAs dan perbedaan ketebalan objek pasien yang menyebabkan variasi Focus Skin Distance. Pasien dengan nilai mAs lebih tinggi cenderung menghasilkan nilai INAK yang lebih besar karena jumlah radiasi yang dihasilkan meningkat. Hasil ini menunjukkan bahwa penyesuaian parameter eksposi pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik dilakukan berdasarkan karakteristik individu pasien untuk mempertahankan informasi diagnostik.

Entrance Surface Dose dan Diagnostic Reference Level lokal

Nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) diperoleh melalui perkalian antara nilai *Incident Air Kerma* (INAK) dengan faktor hambur balik atau *Backscatter Factor* (BSF). Pada penelitian ini digunakan nilai BSF sebesar 1,35 untuk memperhitungkan kontribusi radiasi hambur balik dari tubuh pasien pada permukaan masuk berkas sinar-X. Berdasarkan hasil perhitungan terhadap 20 data pasien, nilai ESD individu berada pada rentang 0,07251–0,16406 mGy. Seluruh nilai ESD tersebut kemudian digunakan untuk menentukan distribusi dosis sebagai dasar penetapan *Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal.

Distribusi nilai ESD menunjukkan nilai minimum sebesar 0,07251 mGy dan nilai maksimum sebesar 0,16406 mGy. Nilai rerata ESD yang diperoleh adalah 0,12073 mGy, sedangkan nilai median sebesar 0,12238 mGy. Berdasarkan distribusi tersebut, nilai persentil ke-75 (P75) ESD diperoleh sebesar 0,12992 mGy. Nilai P75 tersebut digunakan sebagai nilai *Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal pemeriksaan *radiografi thoraks pediatrik* di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal.

Tabel 2. Hasil perhitungan *Entrance Surface Dose* (ESD)

INAK (mGy)	BSF	ESD (mGy)
0,0805	1,35	0,1087
0,1010	1,35	0,1364
0,0906	1,35	0,1223
0,0906	1,35	0,1223
0,1208	1,35	0,1631
0,0805	1,35	0,1087
0,0917	1,35	0,1238
0,0959	1,35	0,1295
0,1019	1,35	0,1375
0,0971	1,35	0,1311
0,0805	1,35	0,1087
0,0815	1,35	0,1100
0,0738	1,35	0,0997
0,0679	1,35	0,0917
0,0537	1,35	0,0725
0,1215	1,35	0,1640
0,0831	1,35	0,1122
0,0872	1,35	0,1178
0,0928	1,35	0,1253
0,0951	1,35	0,1284

Berdasarkan Tabel 2, pola distribusi ESD mengikuti perubahan nilai INAK karena faktor hambur balik yang digunakan memiliki nilai konstan pada seluruh sampel. Nilai ESD yang lebih tinggi ditemukan pada pasien dengan nilai INAK yang lebih besar, yang terutama dipengaruhi oleh penggunaan mAs yang lebih tinggi dan variasi ukuran objek pasien. Hasil ini menunjukkan bahwa estimasi ESD dapat menggambarkan variasi dosis permukaan pasien pada kondisi pemeriksaan klinis rutin.

Penentuan *Diagnostic Reference Level* (DRL) Lokal

Penentuan DRL lokal dilakukan berdasarkan distribusi nilai ESD seluruh pasien penelitian. Berdasarkan analisis statistik deskriptif, diperoleh nilai minimum ESD sebesar 0,07251 mGy dan nilai maksimum sebesar 0,16406 mGy. Nilai rerata ESD sebesar 0,12073 mGy, sedangkan median sebesar 0,12238 mGy. Berdasarkan distribusi tersebut, nilai persentil ke-75 (P75) ESD diperoleh sebesar 0,12992 mGy. Nilai persentil ke-75 tersebut digunakan sebagai *baseline Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal pemeriksaan *radiografi thoraks pediatrik* di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Penentuan DRL menggunakan persentil ke-75 sesuai dengan konsep DRL yang direkomendasikan oleh ICRP Publication 135 sebagai tingkat investigasi untuk membantu fasilitas mengevaluasi variasi dosis pasien (Vaño et al., 2017). Nilai DRL lokal yang diperoleh tidak digunakan sebagai batas dosis individual pasien, tetapi sebagai nilai pembandingan internal untuk pemantauan dosis dan evaluasi protokol pemeriksaan.

Tabel 3. Distribusi ESD dan penentuan DRL lokal

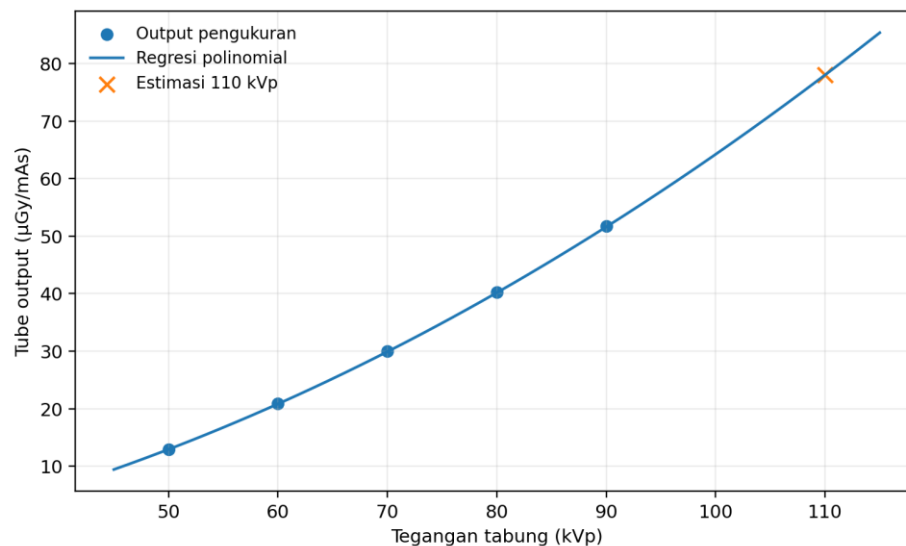
Parameter	Nilai ESD (mGy)
Minimum	0,07251
Maksimum	0,16406
Rerata	0,12073
Median	0,12238
Persentil ke-75 (DRL lokal)	0,12992

Berdasarkan Tabel 3, nilai DRL lokal sebesar 0,12992 mGy menunjukkan bahwa sebagian besar data dosis pasien berada di bawah nilai tersebut, sedangkan nilai yang melebihi DRL lokal dapat menjadi dasar untuk dilakukan evaluasi terhadap faktor teknis pemeriksaan. Nilai DRL lokal yang diperoleh memiliki rentang yang sebanding dengan penelitian Dellie (2022) yang melaporkan DRL berbasis ESD pada radiografi thoraks pediatrik sebesar 0,09–0,17 mGy. Kesamaan parameter dosimetri yang digunakan memungkinkan perbandingan kedua hasil penelitian dilakukan secara lebih relevan. Namun, perbandingan dengan nilai acuan nasional BAPETEN tahun 2019 perlu dilakukan secara hati-hati karena acuan tersebut menggunakan parameter Entrance Surface Air Kerma, sedangkan penelitian ini menggunakan Entrance Surface Dose. Oleh karena itu, perbedaan nilai numerik tidak dapat langsung diinterpretasikan sebagai perbedaan tingkat dosis antar fasilitas.

Kesesuaian model tube output

Hubungan antara tegangan tabung dan tube output dianalisis menggunakan model regresi polinomial berdasarkan data uji kesesuaian pesawat sinar-X. Persamaan regresi yang diperoleh adalah $y = 0,0059x^2 + 0,1408x - 8,8515$, dengan y menunjukkan tube output dalam satuan $\mu\text{Gy/mAs}$ dan x menunjukkan nilai tegangan tabung dalam satuan kVp. Berdasarkan persamaan tersebut, estimasi tube output pada 110 kVp diperoleh sebesar 78 $\mu\text{Gy/mAs}$ atau setara dengan 0,078 mGy/mAs. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan INAK dan ESD pada seluruh sampel penelitian.

Hasil evaluasi kesesuaian model menunjukkan bahwa selisih antara output pengukuran dan hasil persamaan regresi berada pada rentang 0,01–0,16 $\mu\text{Gy/mAs}$ untuk nilai tegangan 50–90 kVp. Nilai selisih terkecil ditemukan pada tegangan 50 dan 60 kVp, sedangkan selisih terbesar ditemukan pada tegangan 90 kVp. Data tersebut menunjukkan bahwa persamaan regresi mampu merepresentasikan hubungan antara tegangan tabung dan tube output pada rentang pengukuran yang tersedia. Namun, nilai 110 kVp yang digunakan dalam penelitian ini berada di luar rentang pengukuran langsung sehingga diperoleh melalui proses ekstrapolasi.



Gambar 1. Hubungan tegangan tabung dengan tube output menggunakan regresi polynomial

Berdasarkan Gambar 1, hubungan antara tegangan tabung dan *tube output* menunjukkan pola peningkatan yang konsisten, yaitu semakin tinggi tegangan tabung maka semakin besar keluaran radiasi yang dihasilkan. Pola hubungan tersebut mengikuti tren kurva polinomial yang menggambarkan bahwa peningkatan output radiasi tidak bersifat linear terhadap kenaikan tegangan tabung. Kesesuaian antara data hasil pengukuran dan model regresi menunjukkan bahwa persamaan yang digunakan mampu merepresentasikan karakteristik keluaran tabung sinar-X pada rentang pengukuran yang tersedia. Namun, estimasi pada tegangan 110 kVp diperoleh melalui ekstrapolasi dari model regresi, sehingga diperlukan verifikasi melalui pengukuran langsung pada kondisi tegangan tersebut untuk meningkatkan akurasi estimasi dosis pada pemeriksaan

Tabel 4. Kesesuaian persamaan regresi terhadap data output radiasi

kVp	Output pengukuran (μGy/mAs)	Hasil persamaan (μGy/mAs)	Selisih (μGy/mAs)
50	12,96	12,95	0,01
60	20,93	20,92	0,01
70	29,96	30,06	0,10
80	40,26	40,39	0,13
90	51,74	51,90	0,16

Berdasarkan Tabel 4, hasil evaluasi kesesuaian model regresi polinomial menunjukkan bahwa persamaan yang digunakan mampu menggambarkan hubungan antara tegangan tabung dan *tube output* dengan tingkat kesesuaian yang baik pada rentang pengukuran yang tersedia.

Perbedaan antara nilai hasil pengukuran dan hasil perhitungan persamaan relatif kecil, yang menunjukkan bahwa model regresi dapat merepresentasikan karakteristik keluaran tabung sinar-X secara konsisten. Peningkatan selisih pada tegangan yang lebih tinggi menunjukkan adanya variasi kecil antara model matematis dan hasil pengukuran aktual, tetapi masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk estimasi keluaran radiasi. Dengan demikian, persamaan regresi tersebut dapat digunakan sebagai pendekatan untuk memperkirakan *tube output* pada kondisi pemeriksaan, meskipun penerapan pada tegangan di luar rentang pengukuran langsung tetap memerlukan verifikasi lebih lanjut melalui pengukuran aktual..

Pembahasan

Optimasi Teknik Eksposi pada Radiografi Thoraks Pediatrik

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik menggunakan tegangan tabung sebesar 110 kVp dengan nilai mAs yang relatif rendah. Penggunaan kombinasi teknik high-kVp dan mAs rendah merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan pada radiografi thoraks karena mampu menghasilkan penetrasi sinar-X yang memadai dengan jumlah foton yang lebih terkendali. Disha et al. (2022) menjelaskan bahwa evaluasi dosis pada pemeriksaan radiografi thoraks PA dapat dilakukan melalui analisis parameter eksposi untuk mengetahui kesesuaian praktik dengan prinsip optimasi radiasi. Variasi nilai dosis antar pasien dalam penelitian ini tidak hanya dipengaruhi oleh perubahan parameter eksposi, tetapi juga berkaitan dengan karakteristik pasien, protokol pemeriksaan, dan kondisi sistem pencitraan yang digunakan. Pada kelompok pediatrik usia 5–14 tahun, perbedaan ukuran tubuh, ketebalan objek, serta kondisi anatomi dapat menyebabkan variasi kebutuhan eksposi untuk memperoleh kualitas citra yang memadai. Perbedaan ketebalan objek pasien juga memengaruhi nilai Focus Skin Distance sehingga dapat menyebabkan perubahan estimasi dosis akibat faktor koreksi jarak.

Penggunaan teknik high-kVp pada radiografi thoraks telah banyak dikaitkan dengan upaya optimasi dosis karena memungkinkan penggunaan mAs yang lebih rendah dibandingkan teknik dengan kVp yang lebih rendah. Disha et al. (2022) menjelaskan bahwa evaluasi parameter eksposi pada pemeriksaan radiografi thoraks PA diperlukan untuk mengetahui kesesuaian praktik dengan prinsip optimasi dosis pasien. Selain faktor pasien, variasi dosis juga dapat dipengaruhi oleh konsistensi protokol pemeriksaan dan karakteristik alat radiografi. Pada penelitian ini, penggunaan parameter kVp dan FFD yang relatif seragam menyebabkan variasi dosis terutama dipengaruhi oleh penyesuaian nilai mAs dan perbedaan geometri pemeriksaan akibat variasi ukuran pasien. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaturan parameter eksposi masih menjadi faktor penting dalam menjaga konsistensi dosis pasien.

Pada sistem Digital Radiography, pengendalian dosis menjadi aspek yang semakin penting karena karakteristik detektor digital memiliki rentang dinamis yang luas. Keunggulan tersebut memungkinkan citra tetap terlihat baik meskipun terjadi variasi paparan, sehingga peningkatan dosis akibat teknik eksposi berlebih tidak selalu terlihat secara langsung pada hasil citra. Pengpan et al. (2022) menjelaskan bahwa optimasi pada radiografi digital harus mempertimbangkan faktor eksposi, karakteristik detektor, dan indikator kualitas citra sebagai bagian dari program kendali mutu. Dengan demikian, nilai dosis yang lebih rendah tidak dapat langsung diinterpretasikan

sebagai kondisi pemeriksaan yang lebih optimal tanpa mempertimbangkan kualitas citra diagnostik. Evaluasi lanjutan menggunakan parameter kualitas citra seperti exposure index diperlukan untuk memastikan bahwa pengurangan dosis tetap mempertahankan informasi diagnostik yang diperlukan.

Evaluasi Nilai Entrance Surface Dose (ESD) dan Penentuan DRL Lokal

Penelitian ini menghasilkan nilai DRL lokal radiografi thoraks pediatrik sebesar 0,12992 mGy berdasarkan persentil ke-75 distribusi Entrance Surface Dose. Penentuan nilai tersebut mengikuti konsep Diagnostic Reference Level yang direkomendasikan oleh ICRP, yaitu menggunakan distribusi dosis pasien untuk mengidentifikasi tingkat investigasi pada suatu praktik radiologi. DRL tidak digunakan sebagai batas maksimum dosis pasien, tetapi sebagai alat untuk mendeteksi kemungkinan variasi praktik yang memerlukan evaluasi lebih lanjut (Vaño et al., 2017). Nilai DRL lokal tersebut menggambarkan karakteristik dosis pada kondisi pemeriksaan rutin di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal dan dapat digunakan sebagai nilai pembanding internal untuk mengevaluasi perubahan pola dosis pada pemeriksaan berikutnya. Nilai yang melebihi DRL lokal tidak secara langsung menunjukkan kesalahan pemeriksaan, tetapi dapat menjadi dasar untuk melakukan investigasi terhadap faktor teknis maupun operasional yang memengaruhi dosis.

Nilai ESD individu pada penelitian ini menunjukkan adanya variasi dosis antar pasien yang dipengaruhi oleh perbedaan parameter eksposi dan karakteristik objek pasien. ICRP Publication 135 menjelaskan bahwa variasi dosis antar pasien dalam suatu fasilitas dapat terjadi akibat perbedaan kondisi pasien, teknik pemeriksaan, dan karakteristik peralatan yang digunakan (Vaño et al., 2017). Perbedaan nilai dosis dengan penelitian sebelumnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor, termasuk metode pengukuran atau estimasi dosis yang digunakan, karakteristik populasi pasien, protokol pemeriksaan, serta jenis teknologi radiografi yang diterapkan. Oleh karena itu, interpretasi hasil antar penelitian perlu mempertimbangkan kesamaan parameter dosimetri dan kondisi fasilitas penelitian.

Nilai DRL lokal yang diperoleh dalam penelitian ini berada dalam rentang nilai yang dilaporkan oleh Dellie (2022) pada radiografi thoraks pediatrik berbasis ESD di Addis Ababa, yaitu 0,09–0,17 mGy. Kesamaan parameter dosimetri yang digunakan memungkinkan perbandingan kedua penelitian dilakukan secara lebih relevan dibandingkan perbandingan dengan acuan yang menggunakan besaran dosis berbeda. Meskipun menggunakan parameter dosimetri yang sama, perbedaan nilai dosis antara penelitian ini dan Dellie (2022) masih dapat dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik pasien, kondisi alat radiografi, sistem detektor, serta protokol pemeriksaan yang diterapkan pada masing-masing fasilitas.

Berdasarkan hasil penelitian, nilai DRL lokal sebesar 0,12992 mGy secara numerik lebih rendah dibandingkan nilai acuan BAPETEN tahun 2019 sebesar 0,7 mGy untuk radiografi thoraks pediatrik usia 5–14 tahun. Namun, perbandingan tersebut harus ditafsirkan secara hati-hati karena acuan BAPETEN menggunakan parameter Entrance Surface Air Kerma, sedangkan penelitian ini menggunakan Entrance Surface Dose. Perbedaan nilai tersebut tidak dapat langsung menunjukkan bahwa salah satu metode menghasilkan dosis yang lebih tinggi atau lebih rendah karena ESAK dan ESD memiliki definisi dosimetri yang berbeda. ESD mempertimbangkan kontribusi radiasi hambur

balik melalui faktor BSF, sedangkan ESAK menggambarkan kerma udara pada permukaan masuk tanpa mempertimbangkan kontribusi tersebut.

Perbandingan dengan Acuan Nasional dan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil penelitian, nilai DRL lokal sebesar 0,12992 mGy secara numerik lebih rendah dibandingkan nilai acuan BAPETEN tahun 2019 sebesar 0,7 mGy untuk *radiografi thoraks pediatrik* usia 5–14 tahun. Namun, perbandingan tersebut harus ditafsirkan secara hati-hati karena acuan BAPETEN menggunakan parameter *Entrance Surface Air Kerma* (ESAK), sedangkan penelitian ini menggunakan *Entrance Surface Dose* (ESD). Kedua besaran tersebut memiliki perbedaan definisi karena ESD mempertimbangkan kontribusi radiasi hambur balik melalui faktor BSF, sedangkan ESAK mengacu pada kerma udara pada permukaan masuk tanpa kontribusi hambur balik. Oleh karena itu, perbedaan nilai numerik antara penelitian ini dan BAPETEN tidak dapat langsung diartikan sebagai perbedaan performa dosis antar fasilitas.

Pedoman BAPETEN (2019) tetap memiliki peran penting sebagai acuan nasional dalam pengembangan program optimasi dosis pasien di fasilitas pelayanan kesehatan. Selain itu, Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 1211/K/V/2021 mengenai Indonesian *Diagnostic Reference Level* (I-DRL) menunjukkan adanya upaya nasional dalam menyediakan nilai referensi dosis untuk mendukung keselamatan radiasi medik (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2021). Namun, ketersediaan data DRL nasional yang masih terbatas pada kelompok tertentu menyebabkan pengembangan DRL lokal tetap diperlukan, khususnya pada populasi pediatrik dengan karakteristik biologis dan ukuran tubuh yang berbeda dari pasien dewasa. Penelitian ini memberikan tambahan data lokal yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi internal di tingkat rumah sakit.

Penelitian terdahulu di Indonesia juga menunjukkan pentingnya penggunaan data lokal dalam evaluasi dosis *radiografi*. Irsal et al. (2023) melakukan evaluasi DRL thoraks PA berdasarkan basis data DRL BAPETEN dan menunjukkan adanya variasi nilai DRL antar fasilitas di Indonesia. Auliaa (2024) juga melakukan penentuan DRL lokal pada pemeriksaan thoraks PA sebagai bagian dari evaluasi dosis pasien pada *radiografi* umum. Selain itu, Putri dan Jeniyanthi (2025) menunjukkan bahwa estimasi dosis pada pemeriksaan thoraks PA dapat digunakan untuk menggambarkan paparan pasien dalam praktik radiologi konvensional. Temuan tersebut mendukung bahwa pengumpulan data dosis lokal merupakan langkah penting dalam membangun sistem optimasi yang sesuai dengan kondisi masing-masing fasilitas.

Evaluasi Metode Tube Output dalam Estimasi Dosis

Penelitian ini menggunakan pendekatan estimasi dosis berbasis tube output untuk memperoleh nilai INAK dan selanjutnya menghitung ESD pasien. Pendekatan tersebut dipilih karena memungkinkan estimasi dosis dilakukan menggunakan parameter pemeriksaan rutin tanpa melakukan pengukuran dosis langsung pada setiap pasien. IAEA (2007) menjelaskan bahwa estimasi dosis pada radiologi diagnostik dapat dilakukan melalui pendekatan tidak langsung menggunakan karakteristik keluaran tabung sinar-X dan parameter eksposi. Latifah et al. (2020) juga menunjukkan bahwa metode tube output dapat digunakan untuk membangun profil dosis pasien pada pemeriksaan *radiografi* umum.

Hasil evaluasi model regresi menunjukkan bahwa persamaan tube output memiliki kesesuaian yang baik terhadap data pengukuran pada rentang 50–90 kVp dengan selisih 0,01–0,16 $\mu\text{Gy/mAs}$. Namun, nilai tube output pada 110 kVp yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui proses ekstrapolasi karena berada di luar rentang data pengukuran. Kondisi tersebut menjadi salah satu keterbatasan metodologis karena akurasi estimasi pada nilai tegangan di luar rentang pengukuran tidak dapat sepenuhnya dipastikan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu melakukan pengukuran langsung tube output pada 110 kVp atau memperluas rentang pengukuran agar mencakup seluruh kondisi klinis yang digunakan.

Putra et al. (2021) menyatakan bahwa data uji kesesuaian pesawat dapat dimanfaatkan untuk mendukung pemantauan dosis pasien pada pemeriksaan *radiografi* umum. Namun, penggunaan data tersebut harus mempertimbangkan konsistensi kondisi pengukuran, karakteristik alat, dan parameter pemeriksaan agar hasil estimasi tetap valid. Dalam konteks penelitian ini, metode tube output memberikan pendekatan awal yang bermanfaat untuk membangun DRL lokal, tetapi verifikasi melalui pengukuran langsung akan meningkatkan tingkat kepercayaan terhadap nilai DRL yang diperoleh.

Implikasi dan Keterbatasan Penelitian

Nilai DRL lokal sebesar 0,12992 mGy yang diperoleh pada penelitian ini dapat digunakan sebagai *baseline* awal dalam pelaksanaan audit dosis *radiografi thoraks pediatrik* di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Nilai tersebut dapat menjadi referensi internal untuk memantau perubahan dosis pada pemeriksaan berikutnya dan mengevaluasi konsistensi penerapan protokol pemeriksaan. Apabila nilai DRL mengalami peningkatan secara konsisten, fasilitas dapat melakukan peninjauan terhadap faktor eksposi, kolimasi, kondisi detektor, jarak pemeriksaan, dan kemungkinan penyebab pengulangan pemeriksaan. Sebaliknya, nilai dosis yang rendah tetap perlu dikaji bersama kualitas citra untuk memastikan bahwa prinsip optimasi tidak hanya berorientasi pada pengurangan dosis, tetapi juga mempertahankan mutu diagnostik.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam interpretasi hasil. Pertama, jumlah sampel yang digunakan hanya 20 pasien dari satu fasilitas sehingga belum dapat menggambarkan variasi populasi pediatrik secara luas. Kedua, kelompok usia 5–14 tahun masih mencakup variasi ukuran tubuh yang cukup besar sehingga analisis berdasarkan kelompok berat badan atau ukuran tubuh belum dapat dilakukan. Ketiga, penelitian ini belum memasukkan evaluasi kualitas citra maupun exposure index sehingga kesimpulan optimasi masih terbatas pada aspek dosis radiasi. Keempat, estimasi tube output pada 110 kVp masih menggunakan pendekatan ekstrapolasi sehingga penelitian selanjutnya perlu melakukan verifikasi pengukuran langsung.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menentukan nilai *Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal pada pemeriksaan *radiografi thoraks pediatrik* proyeksi posteroanterior di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal menggunakan metode *Entrance Surface Dose*. Nilai DRL lokal yang diperoleh berdasarkan persentil ke-75 distribusi ESD adalah sebesar 0,12992 mGy. Nilai ESD pada pasien pediatrik dalam penelitian ini berada pada rentang 0,07251–0,16406 mGy dengan nilai rerata sebesar 0,12073

mGy. Hasil tersebut menunjukkan karakteristik distribusi dosis pasien pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik menggunakan sistem Digital Radiography dengan protokol pemeriksaan yang diterapkan di fasilitas penelitian.

Nilai DRL lokal sebesar 0,12992 mGy merupakan baseline lokal yang digunakan sebagai acuan internal untuk evaluasi dan pemantauan dosis pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik di RSUD dr. Soeselo Kabupaten Tegal. Nilai tersebut tidak digunakan sebagai batas dosis maksimum individual pasien, tetapi sebagai nilai referensi untuk membantu mengidentifikasi variasi dosis yang memerlukan evaluasi lebih lanjut. Penggunaan DRL lokal diharapkan dapat mendukung proses evaluasi konsistensi protokol pemeriksaan berdasarkan kondisi fasilitas dan karakteristik pasien yang diteliti. Dengan demikian, nilai DRL lokal yang diperoleh dapat menjadi informasi dasar dalam penerapan program optimasi dosis pada pemeriksaan radiografi thoraks pediatrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Auliaa, A. A. (2024). Penentuan diagnostic reference level (DRL) lokal proyeksi thorax PA pada modalitas radiografi umum Villa S.M di Instalasi Radiologi RSI Unisma Malang. *Medical Imaging Journal*, 2(11). <https://urj.uin-malang.ac.id/index.php/mij/article/view/11847>
- Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., Jr., & Boone, J. M. (2012). *The Essential Physics of Medical Imaging*.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2009). *Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2009 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. BAPETEN.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2019). *Pedoman teknis penyusunan tingkat panduan diagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) nasional*. BAPETEN.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2021). *Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 1211/K/V/2021 tentang Penetapan Indonesian Diagnostic Reference Level (IDRL)*. BAPETEN.
- Bos, D., Zensen, S., Opitz, M. K., Haubold, J., Nassenstein, K., Kinner, S., Forsting, M., Wetter, A., & Guberina, N. (2022). Diagnostic reference levels for chest computed tomography in children as a function of patient size. *Pediatric Radiology*, 52, 1446–1455. <https://doi.org/10.1007/s00247-022-05340-8>
- Bushong, S. C. (2021). *Radiologic science for technologists: Physics, biology, and protection* (12th ed.). Elsevier.
- Dellie, S. T. (2022). Suggested local diagnostic reference levels for possible pediatric X-ray optimization in Addis Ababa, Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 32(Special Issue 1), 11–16. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9624101/>
- Disha, H., Raharja, R., Supit, N. I. S. H., & Haposan, U. N. (2022). Estimasi dan audit dosis radiasi pasien pada pemeriksaan radiografi konvensional toraks PA dengan teknik high kVp. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 2(1), 63–68. <https://inis.iaea.org/records/3s9gd-ma392>
- Irsal, M., Targian, A., Wulandari, S. E., & Kinasih, N. (2023). Evaluasi Diagnostic Reference Levels (DRL) pada pemeriksaan thorax PA di Pulau Jawa berdasarkan database DRL



- BAPETEN. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, 3(2), 88–96.
<https://doi.org/10.53862/jupeten.v3i2.014>
- Lackay, O., Horn-Lodewyk, J., & Muller, H. (2022). A practical guide for paediatric diagnostic reference levels (PiDRLs). *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 53(1), 123–137. <https://doi.org/10.1016/j.jmir.2021.12.005>
- Latifah, R., Rosyid, M., Yuana, F., & Hidayat, A. (2020). Estimation of Entrance Surface Dose (ESD) as a dose profile for patients undergoing radiography examination based on tube output measurement. *Journal of Vocational Health Studies*, 4(2), 72–77.
<https://doi.org/10.20473/jvhs.V4.I2.2020.72-77>
- Nasokha, I. M. M., Liscyaningsih, I. A. N., Marsella, O., & Amanda, A. (2025). Evaluation of diagnostic reference levels (DRL) in pediatric appendicogram examination for radiation safety improvement. *BIO Web of Conferences*, 203, Article 03006.
<https://doi.org/10.1051/bioconf/202520303006>
- Putri, N. P. V. S. A., & Jeniyanthi, N. P. R. (2025). Estimasi dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan thorax PA di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Balimed Karangasem. *Jurnal Surya Medika*, 11(2). <https://doi.org/10.33084/jsm.v11i2.7711>
- Peacock, J., et al. (2020). Optimization of high-kVp chest radiography techniques in pediatric imaging. *Radiography*, 26(3), 210–218.
- Pengpan, T., Rattananrungruangchai, N., Dechjaithat, J., Panthim, P., Siricharuwong, P., & Prapan, A. (2022). Optimization of image quality and organ absorbed dose for pediatric chest X-ray examination: In-house developed chest phantom study. *Radiology Research and Practice*, 2022, Article 3482458. <https://doi.org/10.1155/2022/3482458>
- Putra, I. K., Ratnawati, G. A. A., & Sutapa, G. N. (2021). General radiographic patient dose monitoring using conformity test data. *International Research Journal of Engineering, IT & Scientific Research*, 7(6), 219–224. <https://doi.org/10.21744/irjeis.v7n6.1953>
- Vañó, E., Miller, D. L., Martin, C. J., Rehani, M. M., Kang, K., Rosenstein, M., Ortiz-López, P., Mattsson, S., Padovani, R., & Rogers, A. (2017). ICRP Publication 135: Diagnostic reference levels in medical imaging. *Annals of the ICRP*, 46(1), 1–144.
<https://doi.org/10.1177/0146645317717209>