
OPTIMIZATION OF ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) THROUGH VARIATION OF FOCUS TO FILM DISTANCE (FFD) WITH PHANTOM ON EMERGENCY THORAX RADIOGRAPHY USING MOBILE X-RAY PLANES

Oleh

Andhani Kurnia Prayoga¹, Fisnandya Meita Astari²

¹ Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta

Email: 2fisnandiyameitaastari@unisayogya.ac.id

Article History:

Received: 23-03-2026

Revised: 30-03-2026

Accepted: 26-04-2026

Keywords:

Entrance Surface
Dose, Focus To Film
Distance, Thorax,
Phantom

Abstract: Pemeriksaan radiografi thorax kegawatdaruratan dilakukan menggunakan pesawat sinar-x mobile dengan posisi pasien supine, sehingga Focus To Film Distance (FFD) lebih pendek dan berpotensi Entrance Surface Dose (ESD) yang lebih tinggi. Mengoptimalkan FFD sangat penting untuk meminimalkan paparan radiasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ESD yang optimal melalui variasi FFD menggunakan phantom dalam radiografi thorax kegawatdaruratan. ini menggunakan metode eksperimental pengambilan data secara kuantitatif dengan menggunakan phantom. Melakukan variasi FFD 100 cm, 120 cm, 150 cm dan 180 cm. Nilai (ESD) didapatkan melalui dosimeter Raysafe dengan setiap variasi FFD diuji sebanyak 5 kali, kemudian hasil output mGy dibagi dengan mAs kemudian nilai ESD di hitung dengan rumus nilai $BSF_x T O_x (FDD / FSD)^2 x mAs$. Perhitungan nilai Entrance Surface Dose (ESD) pada jarak FFD 180 cm yaitu 0,5 mGy, FFD 150 cm yaitu 0,9 mGy, FFD 120 cm yaitu 1,2 mGy dan FFD 100 cm yaitu 1,9 mGy. Nilai ESD yang paling besar 1,9 dengan FFD 100 cm dan nilai ESD yang paling rendah 0,5 mGy dengan FFD 180 cm. FFD yang digunakan pada pemeriksaan thorax kegawatdaruratan 120 cm dengan menghasilkan ESD 1,2 mGy. Hal ini disebabkan karena pada kondisi kegawatdaruratan umumnya digunakan proyeksi AP dengan pesawat sinar-X mobile, menyebabkan posisi pasien tidak ideal (supine). Nilai FFD yang dapat menghasilkan nilai ESD paling optimal pada pemeriksaan radiografi thorax kondisi kegawatdaruratan menggunakan phantom dengan pesawat sinar-X mobile adalah 120 cm dengan nilai ESD yang dihasilkan 1,2 mGy

PENDAHULUAN

Radiologi adalah bidang ilmu yang dimanfaatkan dalam proses diagnosis serta terapi berbagai penyakit dengan memanfaatkan radiasi yang bersifat pengion [1]. Radiasi sinar-x banyak digunakan dalam dunia medis karena dapat membantu dalam proses diagnosis penyakit. Penggunaan sinar-x terbukti bermanfaat untuk kepentingan diagnostik maupun terapi. Salah satu karakteristik sinar-x adalah memiliki kemampuan penetrasi yang tinggi

sehingga mampu menembus berbagai objek, termasuk jaringan tubuh, dengan sumber utamanya berasal dari pesawat sinar-x. Melalui pemanfaatannya, informasi mengenai kondisi internal tubuh dapat diperoleh secara mudah tanpa perlu melakukan prosedur invasif seperti pembedahan. Salah satu bagian tubuh yang sering diperiksa menggunakan sinar-x adalah *thorax* [2].

Thorax merupakan ruang yang dibatasi dan dilindungi oleh dinding dada. Di dalam rongga ini terdapat dua bagian utama, yaitu paru-paru dan mediastinum. Struktur penyusunnya terdiri atas tulang, tulang rawan, dan otot. Pada area ini juga berada organ-organ penting sistem pernapasan dan peredaran darah, seperti paru-paru, jantung, pembuluh darah, serta esofagus dan saluran limfa [3]. Mengingat *thorax* memiliki struktur vital yang berperan dalam fungsi pernapasan dan sirkulasi, diperlukan metode pemeriksaan medis yang mampu menilai kondisi organ-organ tersebut secara akurat. Salah satu pemeriksaan yang banyak digunakan untuk tujuan tersebut adalah pemeriksaan radiografi *thorax* (Lampignano, 2018).

Pemeriksaan radiografi *thorax* adalah pemeriksaan dengan menggunakan sinar- x untuk mengetahui kondisi organ di dalam rongga dada, termasuk jantung dan paru-paru. Pemeriksaan radiografi *thorax* merupakan salah satu pemeriksaan yang paling universal dari semua prosedur radiografi, yang berfungsi untuk menilai kesehatan paru paru, dengan radiografi *thorax* kedua paru, jantung dan rongga dada akan terlihat jelas apabila terdapat kelainan (Lampignano, 2018)

Pada pemeriksaan radiografi *thorax*, pasien umumnya tidak memerlukan persiapan khusus. Pasien hanya perlu melepaskan benda-benda yang berpotensi mengganggu hasil citra, seperti kalung, bra, kancing logam, peniti, serta mengenakan pakaian khusus yang telah disediakan. Teknik yang biasanya diterapkan pada pemeriksaan *thorax* meliputi proyeksi *Antero-Posterior* (AP), *Postero-Anterior* (PA), dan *Lateral* (Lampignano, 2018). Dalam kondisi klinis tertentu, seperti pada situasi gawat darurat, pemeriksaan radiografi *thorax* sering kali menjadi pilihan utama karena dapat dilakukan dengan cepat dan memberikan informasi diagnostik yang penting [5].

Keadaan gawat darurat merupakan kondisi klinis yang memerlukan penanganan medis segera untuk menyelamatkan nyawa dan mencegah terjadinya kecacatan pelayanan terhadap pasien harus dilakukan dengan cepat, tepat, dan hati-hati. Patologi Kegawatdaruratan pada pemeriksaan *thorax* merupakan kondisi klinis akut yang berpotensi mengancam nyawa dan membutuhkan diagnosis radiografi yang cepat dan akurat. Dalam situasi *trauma thorax*, baik akibat trauma tumpul maupun tajam, rontgen dada merupakan modalitas awal yang penting untuk mendeteksi kelainan seperti *pneumothorax*, *hemothorax*, dan fraktur tulang rusuk [6]. Penegakan diagnosis pada suatu penyakit tidak hanya mengandalkan anamnesis dan pemeriksaan fisik, tetapi juga memerlukan pemeriksaan penunjang radiologi yang memiliki peranan penting dalam menegakkan diagnosis secara akurat [5]. Oleh karena itu, pemilihan teknik radiografi yang tepat menjadi hal yang krusial, salah satunya adalah teknik kV tinggi [7] (Tjeerd S, et. al, 2012).

Teknik kV tinggi adalah teknik radiografi yang dikembangkan dengan memanfaatkan tegangan tinggi (kV) pada mAs yang dikurangi untuk menghasilkan citra radiografi yang serupa dengan kondisi kV standar selama pemeriksaan. Teknik kV tinggi dapat digunakan dalam pemeriksaan *thorax* rutin karena dapat memberikan citra lapang paru dan mediastinum yang lebih detail serta dapat mengungkap kelainan di belakang tulang rusuk

[9].

“Barang siapa yang memelihara kehidupan seorang manusia, maka seakan-akan dia telah memelihara kehidupan manusia seluruhnya.” (QS. Al-Maidah: 32)

Pada hadist tersebut dijelaskan bahwa kita sebagai manusia penting untuk memelihara kehidupan seseorang, salah satu upayanya adalah dengan meminimalisir dosis radiasi yang diterima. Dosis radiasi pada kulit pasien pada saat radiografi dinyatakan sebagai *Entrance Surface Dose* (ESD). ESD menjadi indikator penting karena berkaitan langsung dengan risiko efek radiasi pada jaringan kulit dan organ di bawahnya. Prinsip keselamatan radiasi menghendaki agar dosis yang diterima pasien dijaga “serendah mungkin tetapi cukup untuk menghasilkan citra diagnostik yang baik” sesuai prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) [10].

Sejumlah studi membuktikan bahwa faktor teknis seperti tegangan tabung (kVp), arus-waktu (mAs), serta pengaturan geometris seperti FFD memiliki dampak besar terhadap nilai ESD dan mutu gambar. Contohnya, penelitian radiografi *thorax* dengan menggunakan *phantom* memperlihatkan bahwa perubahan pengaturan eksposi dapat menghasilkan perbedaan nilai ESD yang signifikan, dan pengaturan yang tepat mampu menurunkan dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas citra [11].

Meski banyak penelitian fokus pada optimasi dosis melalui pengaturan kVp dan mAs, faktor geometris seperti perubahan FFD masih jarang dikaji, terutama pada penggunaan pesawat radiografi *mobile* dalam kondisi gawat darurat. Pada pemeriksaan dengan pesawat *simar-x mobile*, jarak FFD umumnya lebih pendek dibandingkan pemeriksaan di ruang radiologi konvensional karena keterbatasan ruang, posisi pasien, serta kebutuhan pemeriksaan yang cepat. Kondisi tersebut dapat memicu peningkatan nilai ESD. Sebuah penelitian di ICU melaporkan bahwa pemeriksaan *thorax* menggunakan alat *mobile* dapat menghasilkan ESD hingga 50% lebih tinggi dibandingkan pemeriksaan di ruang *rontgent* standar, terutama akibat perbedaan jarak *Focus To Film Distance* (FFD) (Nur, n.d. 2022).

Penelitian milik Fitzgerald & Lockwood (2025) menunjukkan bahwa pengurangan jarak sumber ke detektor (SID) pada radiografi *thorax AP semi-erect* secara signifikan meningkatkan *Entrance Skin Dose* (ESD) serta menurunkan kualitas diagnostik citra. Penurunan SID dari standar 180 cm menjadi 150 cm meningkatkan dosis sebesar 40,1%, sedangkan penurunan hingga 100 cm meningkatkan dosis hingga 121,5%. Selain itu, kualitas citra pada SID 100 cm dinilai rendah terutama pada visualisasi paru bagian bawah dan memiliki nilai diagnostik terbatas. Berdasarkan temuan tersebut, penggunaan SID standar 180 cm direkomendasikan untuk menjaga prinsip keselamatan radiasi serta menghasilkan kualitas citra diagnostik yang optimal.

Karena itu, diperlukan upaya untuk mengoptimalkan dosis radiasi pada pemeriksaan *thorax* menggunakan alat *mobile* dengan menyesuaikan FFD. Penggunaan *phantom* sebagai objek uji dianggap tepat karena lebih aman dan dapat dikontrol. Pendekatan ini dipilih peneliti dengan tujuan untuk memperoleh nilai FFD yang optimal sehingga dapat menghasilkan ESD serendah mungkin tanpa mengurangi kualitas gambar diagnostik, sekaligus mendukung penerapan prinsip proteksi radiasi berbasis konsep ALARA. (Pangestu et al., 2022).

LANDASAN TEORI

1. Radiografi Thorax

Radiologi adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan radiasi pengion dan non-pengion untuk diagnosis dan pengobatan penyakit [1]. Salah satu aplikasi radiologi yang paling banyak digunakan adalah radiografi *thorax*, pemeriksaan pencitraan sinar-x yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi organ di dalam rongga dada, termasuk paru-paru, jantung, dan mediastinum (Lampignano, 2018). *Thorax* itu sendiri adalah ruang yang dibatasi oleh dinding dada dan terdiri dari tulang, tulang rawan, dan otot. *Thorax* berisi organ-organ vital dari sistem pernapasan dan peredaran darah, seperti paru-paru, jantung, pembuluh darah besar, kerongkongan, dan pembuluh limfatik [3]. Mengingat kompleksitas struktur anatominya, radiografi dada adalah salah satu prosedur radiografi paling universal yang digunakan untuk mendeteksi berbagai kelainan pada paru-paru, jantung, dan struktur dinding dada [2]. Dari berbagai uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa radiografi *thorax* adalah pemeriksaan sinar-x yang bertujuan untuk menilai kondisi organ vital di rongga dada secara non-invasif dan merupakan modalitas pencitraan yang paling sering digunakan dalam praktik klinis sehari-hari.

2. Radiografi Thorax pada Kondisi Kegawatdaruratan

Situasi darurat adalah kondisi klinis yang membutuhkan perhatian medis segera untuk menyelamatkan nyawa dan mencegah kecacatan [5]. Dalam situasi *trauma thorax*, baik karena trauma tumpul maupun tembus, radiografi dada merupakan modalitas awal yang penting untuk mendeteksi kelainan seperti *pneumotorax*, *hemotorax*, *efusi pleura*, dan fraktur tulang rusuk (Tjeerd et al., 2012). Dalam situasi ini, pemeriksaan tidak dapat dilakukan di ruang radiologi konvensional, sehingga pesawat sinar-x *mobile* menjadi pilihan utama karena dapat dibawa langsung ke samping tempat tidur pasien di ruang gawat darurat atau unit perawatan intensif. Teknik proyeksi yang paling umum digunakan dalam situasi darurat adalah pandangan *Antero-Posterior* (AP) dengan pasien dalam posisi telentang atau setengah tegak, tidak seperti pemeriksaan rutin yang menggunakan pandangan *Postero-Anterior* (PA) dengan pasien berdiri (Lampignano, 2018). Teknik kV tinggi juga sering digunakan dalam pemeriksaan *thorax* kegawatdaruratan karena dapat memberikan gambaran yang lebih detail tentang bidang paru-paru dan mediastinum dengan mAs yang lebih rendah, sehingga mengurangi dosis radiasi tanpa mengorbankan kualitas diagnostik [15]. Oleh karena itu, pemeriksaan radiografi *thorax* dalam situasi darurat menghadirkan tantangan unik dalam hal teknik pemeriksaan, yang secara langsung berdampak pada dosis radiasi yang diterima oleh pasien.

3. Pesawat Sinar-X Mobile

Pesawat sinar-x *mobile* adalah peralatan radiografi yang dirancang untuk diangkut dan dioperasikan di luar ruang radiologi konvensional, sehingga sangat berguna untuk memeriksa pasien yang tidak dapat bergerak [16]. Komponen utama pesawat sinar-x terdiri dari tabung sinar-x, generator tegangan tinggi, kolimator, dan sistem deteksi gambar. Sinar-x dihasilkan ketika elektron yang dipercepat oleh tegangan tinggi (kV) menumbuk anoda dalam tabung vakum, menghasilkan radiasi yang kemudian diarahkan ke objek pemeriksaan melalui kolimator [17]. Penggunaan mesin sinar-x *mobile* di unit perawatan intensif (ICU) memiliki beberapa keterbatasan teknis, termasuk jarak FFD, yang tidak selalu dapat disesuaikan secara optimal karena keterbatasan ruang fisik, posisi

pasien yang bervariasi, dan keberadaan peralatan medis lain di dekatnya [18]. Kondisi ini berpotensi menghasilkan kualitas gambar yang kurang optimal dan dosis radiasi yang lebih tinggi daripada pemeriksaan standar. Secara keseluruhan, pesawat sinar-x *mobile* merupakan alat penting dalam layanan radiologi darurat, tetapi penggunaannya memerlukan perhatian khusus pada faktor teknis untuk memastikan kualitas gambar dan keselamatan pasien

4. **Focus to Film Distance (FFD)**

Focus to Film Distance (FFD), juga dikenal sebagai *Source To Image Distance* (SID), adalah jarak antara titik fokus tabung sinar-x dan detektor atau film penerima gambar [19]. salah satu faktor geometris penting dalam radiografi yang memengaruhi intensitas sinar-x yang mencapai detektor sesuai dengan hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber [20]. Dalam pemeriksaan *thorax* standar di ruang radiologi konvensional, FFD yang direkomendasikan adalah 180 cm untuk proyeksi PA, sedangkan untuk proyeksi AP umumnya digunakan 100–150 cm tergantung pada kondisi klinis (Lampignano, 2018). Penelitian oleh Yosua et al., (2024) membuktikan bahwa variasi FFD sebesar 110 cm, 130 cm, dan 150 cm menghasilkan perbedaan signifikan pada dosis serap pasien, dengan FFD yang lebih pendek menghasilkan dosis yang lebih tinggi. Fitzgerald & Lockwood (2025) juga menunjukkan bahwa pengurangan SID dari 180 cm menjadi 150 cm meningkatkan ESD sebesar 40,1%, dan penurunan hingga 100 cm meningkatkan dosis hingga 121,5%. Nur n.d. (2022) melaporkan bahwa variasi FFD pada proyeksi PA juga mempengaruhi informasi anatomi radiograf *thorax* secara signifikan. Berdasarkan berbagai temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa FFD adalah parameter geometris yang sangat krusial dalam menentukan besaran dosis radiasi yang diterima pasien, sehingga penetapan nilai FFD yang tepat menjadi bagian penting dari upaya optimasi proteksi radiasi.

5. **Prinsip ALARA dan Proteksi Radiasi**

Proteksi radiasi merupakan upaya sistematis yang dilakukan untuk melindungi manusia dan lingkungan dari efek berbahaya radiasi pengion (IAEA, 2014). Prinsip dasar proteksi radiasi mencakup tiga aspek utama, yaitu justifikasi (pemeriksaan hanya dilakukan bila manfaatnya lebih besar dari risikonya), optimasi (dosis dijaga serendah mungkin yang dapat dicapai secara wajar), dan limitasi (dosis tidak melampaui batas yang telah ditetapkan) (Seeram & Brennan, 2017). Optimasi proteksi radiasi dalam praktik klinis dikenal dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*), yang mengharuskan setiap tindakan radiografi dilakukan dengan dosis serendah mungkin namun tetap menghasilkan citra diagnostik yang memadai [10]. Dalam konteks pemeriksaan radiografi *thorax* menggunakan pesawat sinar-x *mobile*, penerapan prinsip ALARA sangat penting mengingat tingginya frekuensi pemeriksaan dan potensi akumulasi dosis pada pasien kritis yang menjalani pemeriksaan berulang di ICU [22]. Lubis (2025) menekankan bahwa kepatuhan terhadap prinsip keselamatan radiasi di instalasi radiologi, termasuk pada penggunaan peralatan *mobile*, harus senantiasa dijaga melalui pengaturan teknis yang tepat. Secara keseluruhan, penerapan prinsip ALARA dalam setiap aspek teknis pemeriksaan radiografi, termasuk pemilihan nilai FFD yang optimal, merupakan tanggung jawab profesional radiografer dalam memberikan pelayanan yang aman dan berkualitas bagi pasien.

6. (*Incident Air Kerma*) INAK

Radiasi sinar-x memiliki keluaran berupa besarnya sebuah nilai paparan radiasi atau kerma udara pada berkas utama sinar-x yang diukur pada udara bebas pada jarak tertentu namun pada umumnya berjarak 100 cm dari titik fokus tanpa adanya kontribusi hamburan balik, pada peristiwa tersebut dapat dikatakan dengan INAK. Pada pesawat sinar-x radiologi diagnostik, dosis serapan dan kerma mempunyai nilai yang sama namun pada keadaan foton yang tinggi nilai kerma akan lebih besar dari dosis serap. Hal ini dikarenakan elektron sekunder energi tinggi terlepas sebelum mengendapkan energinya (Reni M. et al., 2023)

7. (*Entrance Surface Air Kerma*) ESAK

Dalam pencitraan medis pengukuran paparan radiasi dikenal dengan istilah "*Entrance Surface Air Kerma*" (ESAK) yaitu pengukuran paparan radiasi pada pusat penyinaran sinar-x. Salah satu metode pengukuran ESAK dengan menentukan radiation *output* dari pesawat sinar-x. Dosis pasien ditentukan oleh beberapa parameter sinar-x seperti kV, mAs, Grid, SID, filter, kolimasi berkas (Reni M. et al., 2023).

8. (*Back Scatter Factor*) BSF

BSF (*Back Scatter Factor*) adalah faktor koreksi dalam fisika radiologi yang digunakan untuk memperhitungkan tambahan dosis radiasi akibat hamburan balik (*backscatter*) dari objek yang disinari, biasanya tubuh pasien. Nilai BSF (*Back Scatter Factor*) merupakan ketentuan nilai tetap yang ditetapkan oleh IAEA yaitu 1,35. (BAPETEN, 2024).

9. (*Entrance Surface Dose*) (ESD)

Entrance Surface Dose (ESD) adalah besaran dosis radiasi yang diterima pada permukaan kulit pasien di titik masuk berkas sinar-x primer, termasuk kontribusi dari radiasi hambur balik (*backscatter*) [11]. ESD dinyatakan dalam satuan Gray (Gy) dan merupakan salah satu besaran dosimetri yang paling relevan dalam pemantauan dosis pasien pada pemeriksaan radiografi konvensional karena dapat diukur secara langsung maupun dihitung menggunakan formula. Formula perhitungan ESD memperhitungkan keluaran radiasi tabung sinar-x (*output*), nilai mAs, jarak SID, ketebalan objek, serta *Back Scatter Factor* (BSF) yang mencerminkan kontribusi radiasi hambur balik dari jaringan [20]. Wulandari, (2022) menegaskan bahwa ESD menjadi indikator penting dalam proteksi radiasi karena berkaitan langsung dengan risiko efek stokastik maupun deterministik pada jaringan kulit dan organ superfisial. Nilai ESD yang dihasilkan pada pemeriksaan radiografi *thorax* dipengaruhi oleh sejumlah faktor teknis, antara lain tegangan tabung (kVp), arus-waktu (mAs), FFD, serta penggunaan grid [11]. Sebagai acuan keselamatan, nilai ESD hasil pemeriksaan dibandingkan dengan *International Diagnostic Reference Levels* (IDRL) 2021 yang ditetapkan sebagai nilai batas dosis rujukan diagnostik internasional. Dengan demikian, pemantauan dan optimasi nilai ESD merupakan langkah esensial dalam menjamin keselamatan pasien sekaligus mempertahankan kualitas citra diagnostik yang memadai.

10. (*Diagnostic Reference Level*) DRL

Seorang Fisikawan Medik memiliki tanggung jawab dalam menentukan pemberian dosis radiasi serendah-rendah mungkin, sesuai dengan prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA). Untuk menggunakan prinsip ALARA dapat diketahui dengan mengetahui DRL dimana DRL digunakan sebagai alat optimasi dalam melakukan proteksi

radiasi terhadap pasien sebagai upaya untuk pencegahan paparan radiasi yang berlebih pada pasien (Reni M. et al., 2023).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pengambilan data secara kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis optimasi nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) melalui variasi *Focus to Film Distance* (FFD) pada pemeriksaan radiografi *thorax* kegawatdaruratan menggunakan pesawat sinar-x *mobile*. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi FFD yang terdiri dari 100 cm, 120 cm, 150 cm, dan 180 cm, sedangkan variabel terikatnya adalah nilai ESD yang diukur pada permukaan objek. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Radiologi Universitas `Aisyiyah Yogyakarta pada periode Desember 2025 hingga Maret 2026 dengan objek berupa *phantom thorax*. Pengumpulan data dilakukan dengan mempersiapkan alat dan bahan yang berupa *Anthropomorphic Thorax Phantom*, Pesawat sinar-x *mobile* jenis BMX-AR 30 (BMI), Dosimeter merek *Raysafe*, Alat tulis, kertas penanda, *Handphone* untuk dokumentasi, meteran, *shielding* radiasi portabel, meja pasien dan *microsoft excel*, kemudian nyalakan pesawat sinar-x *mobile* atur kV dan mAs yang akan digunakan dan variasi FFD yang akan diuji setelah itu meletakkan dosimeter (*Raysafe*) pada *central point* permukaan *phantom thorax* untuk mengukur nilai ESD, dengan parameter paparan terkontrol pada 70 kV dan 25 mAs, dengan variasi FFD 100 cm, 120 cm dan 180 cm dan setiap perlakuan diulang lima kali untuk mendapat data yang *reliable*. Data yang diperoleh kemudian diolah dan perhitungan nilai rata-rata ESD. 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).

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

dengan t_p adalah ketebalan *phantom*, (Risalatul L. et al., 2020). *Entrance Surface Dose* (ESD) ditentukan dengan persamaan (2) sebagai berikut:

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

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) (Risalatul L. et al., 2020). Data tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif menggunakan perangkat lunak *microsoft excel* dan dibandingkan dengan standar *International Diagnostic Reference Levels* (IDRL) 2021 untuk menentukan nilai optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini diperoleh dari pengukuran langsung menggunakan dosimeter RaySafe pada pemeriksaan radiografi *thorax* dengan parameter tetap 70 kV dan 25 mAs serta variasi *Focus to Film Distance* (FFD) *thorax* Tabel 1.

Tabel 1. Variasi FFD

FFD
100 cm
120 cm
150 cm
180 cm

Alat dan bahan yang digunakan *Anthropomorphic Thorax Phantom*, Pesawat sinar-X *mobile* jenis BMX-AR 30 (BMI) tipe X22 *max* 125 kVp, 500 mA, Dosimeter merek *Raysafe*, Alat tulis, kertas penanda, *Handphone* untuk dokumentasi, meteran, *shielding* radiasi portabel, meja pasien dan *Microsoft Excel*.



Gambar 1. Alat dan Bahan [27]

Setelah alat dan bahan siap, kemudian hidupkan pesawat sinar-x, arahkan *central ray* (CR) tegak lurus dengan *phantom*. Tempatkan *radiation detector* tepat di *central point* (CP) *phantom thorax* (3 inch dibawah *jugular notch*). Atur 70 kV dan 25 mAs dengan variasi FFD yang akan di uji. Lakukan setiap kali variasi FFD 5 kali uji *ekspose*. Kemudian di layar *Raysafe* akan muncul nilai pada Tabel 2 dan Gambar 2.

Tabel 2. Dengan Variasi FFD 100 cm.

Uji	kVp	μ Gy	ms
1	68,3	875,9	64,9
2	68,2	878,0	64,9
3	68,2	877,6	64,8
4	68,3	882,0	64,9
5	68,2	870,6	64,1



Gambar 2. Hasil Nilai Uji di Monitor[28]

Tabel 3. Dengan Variasi FFD 120 cm

Uji	kVp	μGy	ms
1	68,2	619,5	65,0
2	68,3	619,6	64,9
3	68,2	620,0	64,9
4	68,1	619,6	64,9
5	68,1	618,0	64,9

Tabel 4. Dengan Variasi FFD 150 cm.

Uji	kVp	μGy	ms
1	68,3	479,5	65,0
2	68,2	479,5	65,1
3	68,2	480,4	65,1
4	68,1	480,4	65,9
5	68,3	481,0	65,9

Tabel 5. Dengan Variasi FFD 180 cm.

Uji	kVp	μGy	ms
1	68,1	267,3	66,1
2	68,3	267,0	66,0
3	68,4	267,3	66,1
4	68,2	267,4	66,0
5	68,3	267,8	66,1

Setelah mendapatkan hasil keluaran radiasi dengan variasi FFD (Tabel 2 hingga Tabel 5) siapkan *Microsoft Excel* untuk menghitung nilai ESD dengan menggunakan rumus persamaan (1).

Dengan mencari nilai $FSD = FFD \cdot t$ (ketebalan *phantom*).

Tabel 6. Tabel Perhitungan Nilai FSD

FFD	t (ketebalan <i>phantom</i>)	FSD
100 cm	21,5 cm	78,5
120 cm	21,5 cm	98,5
150 cm	21,5 cm	128,5
180 cm	21,5 cm	158,5

Setelah mendapatkan nilai FSD kemudian hitung ESD dengan rumus (2) dengan mengubah satuan μGy ke mGy kemudian hitung rata-rata mGy per-variasi FFD-nya. Menggunakan nilai BSF (*Back Scatter Factor*) 1,35 sesuai dengan yang ditetapkan IAEA (BAPETEN, 2024). Kemudian hitung nilai TO (*tube output*) dengan cara (mGy/mAs).

Tabel 7. Hasil perhitungan ESD dengan variasi FFD.

FFD	Rata-rata (μGy)	TO	mGy	FSD	ESD
100	876,82	0,035073	0,87682	78,5	1,9
120	619,34	0,024774	0,61934	98,5	1,2
150	480,16	0,019206	0,48016	128,5	0,9
180	267,36	0,010694	0,26736	158,5	0,5

Dengan hasil perhitungan pada tabel 7. Nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) pada pemeriksaan radiografi *thorax* dalam kondisi kegawatdaruratan cenderung lebih tinggi

dibandingkan dengan pemeriksaan *thorax* normal. Hal ini disebabkan karena pada kondisi kegawatdaruratan umumnya digunakan proyeksi AP dengan teknik *mobile/portable* X-ray, dimana posisi pasien tidak ideal (*supine*), *Focus To Film Distance* (FFD) lebih pendek 120 cm [29] dengan nilai ESD yang dihasilkan 1,2 mGy.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi *Focus To Film Distance* (FFD) dapat mempengaruhi nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) pada pemeriksaan radiografi *thorax* kegawatdaruratan menggunakan pesawat sinar-x *mobile*. Berdasarkan Tabel 7, nilai ESD menurun secara signifikan dengan meningkatnya jarak FFD, dari 1,9 mGy pada FFD 100 cm, 1,2 mGy pada FFD 120 cm, 0,9 mGy pada FFD 150 cm menjadi 0,5 mGy pada FFD 180 cm.

FFD adalah parameter geometris yang sangat mempengaruhi dosis radiasi yang diterima oleh permukaan objek, sesuai dengan prinsip hukum kuadrat terbalik, intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber (Seeram & Brennan, 2017). Peningkatan jarak *Focus To Film Distance* (FFD) berperan penting dalam mengurangi dosis radiasi [29]. Nilai *Entrance Surface Dose* (ESD) pada radiografi *thorax* kegawatdaruratan cenderung lebih tinggi dibandingkan pada pemeriksaan *thorax* normal. Hal ini karena pada situasi darurat, proyeksi AP umumnya digunakan dengan teknik sinar-X *mobile*, posisi pasien tidak ideal (terlentang) dan keterbatasan ruang mengharuskan penggunaan *Focus-to-Film Distance* (FFD) yang lebih pendek 120 cm dalam pemeriksaan radiografi *thorax* telah digunakan dalam praktik klinis sebagai variasi teknik radiografi kegawatdaruratan. Variasi FFD seperti 120 cm, 150 cm, dan 180 cm digunakan untuk menyesuaikan kondisi pemeriksaan dan kualitas gambar yang dihasilkan. Dalam kondisi darurat atau pasien dengan mobilitas terbatas yang membutuhkan penggunaan sinar-x *mobile*, panjang fokus film tidak dapat mencapai standar 180 cm, sehingga digunakan FFD yang lebih pendek [29].

Menurut penelitian Ratio et al., (2024) dan Hidayati et al., (2017) secara umum, FFD optimal pada pemeriksaan *thorax* adalah 180 cm, pada proyeksi *posteroanterior* (PA) dengan posisi pasien (*supine*) sedangkan pada proyeksi *Anteroposterior* (AP) dengan pasien (*semi-erect*) adalah 150 cm. Berdasarkan standar *Diagnostic Reference Level* (DRL) internasional, batas nilai ESD yang dianggap normal untuk pemeriksaan radiografi *thorax* adalah sekitar 0,4 mGy (BAPETEN 01, 2003).

Berdasarkan pembahasan di atas, menurut peneliti pada pemeriksaan radiografi *thorax* kondisi kegawatdaruratan FFD yang optimal digunakan 120 cm karena melihat kondisi pesawat sinar-X *mobile* tidak bisa dimaksimalkan hingga 180 cm meskipun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa FFD 180 menghasilkan nilai ESD yang paling rendah.

Sebaiknya dalam pemeriksaan radiologi *thorax* kondisi kegawatdaruratan dengan pesawat sinar-x *mobile* menggunakan *Focus To Film Distance* (FFD) 120 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, nilai FFD yang dapat menghasilkan nilai ESD paling optimal pada pemeriksaan radiografi *thorax* kondisi kegawatdaruratan menggunakan *phantom* dengan pesawat sinar-X *mobile* adalah 120 cm, nilai ESD yang dihasilkan 1,9 mGy.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. P. Utami, D. A. Mulyani, and A. N. Istiqomah, "Jurnal Imejing Diagnostik," vol. 6, pp.

- 11-15, 2020.
- [2] B. P. Hotromasari Dabukke, "Jurnal Teknik , Kesehatan dan Ilmu Jurnal Teknik , Kesehatan dan Ilmu Sosial," vol. 1, no. 1, pp. 1-4, 2019.
 - [3] E. C. Pearce, *Pearce, E. C. (2015). Anatomi dan Fisiologi Untuk Paramedis. Jakarta: Penerbit PT. Gramedia Pustaka Utama.* 2015.
 - [4] J. P. 2018 Kenneth L, B. and Lampignano, "Bontranger 2018 E-Book," 2018.
 - [5] Sugianto, S. Rammang, and A. Rahman, "Hubungan Beban Kerja terhadap Waktu Tanggap Perawat Gawat Darurat Menurut Persepsi Pasien di Ruang IGD Rumah Sakit Banggai Laut," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 21685-21693, 2023.
 - [6] H. Hikmah *et al.*, "Studi Kasus Pemeriksaan Radiografi Kegawatdaruratan Abdomen Akut pada Kasus Ileus Obstruktif di RSI Sultan Agung Semarang," 2025.
 - [7] F. Fathiyya, F. Pramanik, and R. N. Firman, "Kualitas radiograf periapikal dengan teknik paralel di Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Padjadjaran Quality periapical radiograph with paralleling technique in Rumah Sakit Gigi dan Mulut Universitas Padjadjaran," vol. 3, no. 1, pp. 70-74, 2019.
 - [8] L. P. L. Tjeerd S Aukema, Ludo FM Beenen, Falco Hietbrink, "Initial assessment of chest X-ray in thoracic trauma patients: Awareness of specific injuries," vol. 4, no. 2, pp. 48-52, 2012, doi: 10.4329/wjr.v4.i2.48.
 - [9] I. Suyudi *et al.*, "Analisa Perbandingan Radiograf Pada Pemeriksaan Thoraks Dengan Menggunakan Teknik Kv Standar Dan Teknik Kv Tinggi Di Instalasi," vol. 3, no. 03, pp. 96-102, 2022.
 - [10] P. I. Wulandari, N. Kadek, R. Adi, and M. Bayu, "ANALISIS NILAI ESAK PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI THORAX PA : STUDI PENGARUH FAKTOR EKSPOSI DAN," vol. 8, pp. 3605-3612, 2024.
 - [11] B. Santoso, N. H. Apriantoro, and F. Anita, "Analisis Optimasi Citra Radiografi Pada Pemeriksaan Thorax Sistem Computed Radiography (CR) Terhadap Entrance Surface Dose (ESD)," vol. 17, no. 1, pp. 1-8, 2019.
 - [12] M. Nur, "PERBEDAAN INFORMASI ANATOMI RADIOGRAF THORAX PROYEKSI POSTEROANTERIOR (PA) DENGAN VARIASI FOCUS FILM DISTANCE," 2022.
 - [13] A. Fitzgerald and P. Lockwood, "The effect to dose and diagnostic quality of limiting source-to-image distance on anterior-posterior semi-erect adult chest X-rays," *J. Med. Imaging Radiat. Sci.*, vol. 56, no. 4, p. 101986, 2025, doi: 10.1016/j.jmir.2025.101986.
 - [14] Brady, Z., Scoullar, H., Grinsted, B., Ewert, K., Kavnoudias, H., Jarema, A., Crocker, J., Wills, R., Houston, G., Law, M., & Varma, D. (2020). Technique , radiation safety and image quality for chest X - ray imaging through glass and in mobile settings during the Covid - 19 pandemic. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 43(3), 765-779. <https://doi.org/10.1007/s13246-020-00899-8>
 - [15] I. N. Yosua, G. N. Sutapa, I. K. Putra, I. B. Suryatika, and H. Suyanto, "The Effect of Focus Film Distance Variation on Patient Absorbed Dose in Thorax Examination with Roentgen Machine in Radiology Installation of Sanjiwani Hospital Gianyar," vol. 8, no. 3, pp. 446-450, 2024.
 - [16] Samuel, "Impression : Jurnal Teknologi dan Informasi RAY MERK TOSHIBA DI RUMAH SAKIT KHUSUS PARU MEDAN," vol. 2, no. 2, 2023.
 - [17] X. Ou *et al.*, "Review Article Recent Development in X-Ray Imaging Technology : Future

- and Challenges,” vol. 2021, 2021.
- [18] S. Lubis, E. Suharlim, I. M. Hayati, and M. A. Hamidah, “Penerapan Keselamatan Radiasi Sinar X pada Petugas Radiasi di Instalasi Radiologi,” vol. 6, no. 2, pp. 252–257, 2025.
- [19] N. Marcellino, N. N. Ratini, I. W. B. Sudarsana, G. N. Sutapa, A. Paramarta, and I. G. A. Kasmawan, “Pengaruh Focus Film Distance (FFD) terhadap Nilai Uji Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner untuk Pemeriksaan Pasien,” vol. 9, no. 1, pp. 49–57, 2025.
- [20] E. Seeram and P. C. Brennan, “RADIATION in Diagnostic X-Ray Imaging,” pp. 1–26, 2017.
- [21] R. Protection, I. Basic, and S. Standards, “Radiation Protection and Safety of Radiation Sources : International Basic Safety Standards General Safety Requirements Part 3,” 2014.
- [22] F. Wahyuni, S. Sugiarti, K. E. Aryati, and Y. K. Usfiniti, “Gambaran Peralatan Proteksi Radiasi di Intalasi Radiologi Rumah Sakit Khusus Bedah Hasta Husada The Overview of Radiation Protection Equipment At Radiology Installations of Hasta Husada Special Surgical Hospital,” 2020.
- [23] R. S. A. . Reni Muasisatul Khoirot, Muhammad Helmi Hakim, Yuniar Alam, “ANALISIS NILAI DRL PARAMETER ESAK / INAK PEMERIKSAAN THORAX AP / PA X-RAY CANON,” vol. 3, no. 2, pp. 61–68, 2023.
- [24] *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2024 (BAPETEN)*.
- [25] M. Wulandari, “Buku Ajar Anatomi Fisiologi,” *Yogyakarta Zahir Publ.*, vol. 5, no. 3, pp. 111–127, 2022, [Online]. Available: <https://repository.poltekkespalembang.ac.id/files/original/2f78c229942eb9c65238559d5cbb1867.pdf>
- [26] A. H. Risalatul Latifah , Muhammad Rosyid, Firidy Yuana, “Journal of Vocational Health Studies DOSE PROFILE FOR PATIENTS UNDERGOING RADIOGRAPHY,” vol. 04, pp. 72–77, 2020, doi: 10.20473/jvhs.V4.I2.2020.72-77.
- [27] A. K. Prayoga, “Alat dan Bahan,” 2026.
- [28] A. K. Prayoga, “Hasil Nilai Uji di Monitor,” 2026.
- [29] Z. Brady *et al.*, “Technique , radiation safety and image quality for chest X - ray imaging through glass and in mobile settings during the COVID - 19 pandemic,” *Phys. Eng. Sci. Med.*, vol. 43, no. 3, pp. 765–779, 2020, doi: 10.1007/s13246-020-00899-8.
- [30] C. Ratio, C. T. R. Dan, and S. R. Snr, “Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan (STIKes) Cirebon PENGARUH VARIASI FOCUS FILM DISTANCE (FFD) TERHADAP,” vol. 15, pp. 123–129, 2024, doi: 10.38165/jk.v15i2.4.
- [31] S. N. Hidayati, C. O. Ningsi, and R. Techniques, “STUDI KASUS PEMERIKSAAN THORAX,” pp. 26–30, 2017.