

## *Effect of Film Focus Distance Variation on Anode Heel Effect and Radiographic Image Quality Based on Pixel Value Parameters* Pengaruh Variasi Jarak Fokus Film pada *Anode Heel Effect* Terhadap Kualitas Citra Radiografi Melalui Parameter *Pixel Value*

Sitti Normawati<sup>1\*</sup>, Syahrir Syahrir<sup>2</sup>, Nur Fitri Qalbina Syahdan<sup>3</sup>, Jumardin Jumardin<sup>4</sup>

<sup>123</sup>Program Studi Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar, Jl. DR. Ratulangi No.101, Labuang Baji, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90132, Indonesia.

<sup>4</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Jl. H. M. Yasin Limpo No. 36, Kel. Romang Polong, Kec. Somba Opu, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan, 92113, Indonesia.

\*Corresponding author email: [sittinormawati@poltekesmu.ac.id](mailto:sittinormawati@poltekesmu.ac.id)

### Abstract

This study aimed to analyze the effect of variations in focus-to-film distance (FFD) on the anode heel effect and radiographic image quality, based on the Pixel Value (PV) parameter. A quantitative experimental approach was employed. The testing was conducted using a phantom articulation genu with FFD variations of 90 cm, 100 cm, and 120 cm, and object positions varied between the cathode and anode sides. The results indicated that the anode heel effect was more effectively utilized at shorter FFD when the thick side of the object was positioned on the cathode side. The highest PV value was obtained under this condition, whereas a decrease of approximately 11% was observed when the thick side was positioned on the anode side. Furthermore, an FFD of 100 cm produced lower PV standard deviation (PVSD) values, resulting in more homogeneous images with minimal noise. These findings demonstrate that variations in FFD and object positioning influence the distribution of X-ray intensity and radiographic image quality. Appropriate selection of FFD and placement of the thick side of the object on the cathode side can produce more uniform radiographs in terms of sharpness, brightness, and density.

**Keywords:** *anode heel effect, FFD, pixel value, radiography.*

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak fokus film atau *Focus-Film Distance* (FFD) pada *anode heel effect* terhadap kualitas citra radiografi berdasarkan parameter *Pixel Value* (PV). Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Pengujian dilakukan menggunakan phantom *articulation genu* dengan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm, serta variasi posisi objek berdasarkan sisi katoda dan anoda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *anode heel effect* lebih optimal pada penggunaan FFD pendek ketika sisi tebal objek diletakkan pada sisi katoda. Nilai PV tertinggi diperoleh pada kondisi tersebut, sedangkan terjadi penurunan nilai PV sekitar 11% ketika sisi tebal objek diletakkan pada sisi anoda. Selain itu, FFD 100 cm menunjukkan nilai PVSD yang lebih rendah, sehingga citra yang dihasilkan lebih homogen dengan tingkat derau yang lebih minimal. Temuan ini menunjukkan bahwa variasi FFD dan posisi objek memengaruhi distribusi intensitas sinar-X serta kualitas citra radiografi. Penggunaan FFD yang tepat dan penempatan sisi tebal objek pada sisi katoda dapat menghasilkan citra radiografi yang lebih merata dari aspek ketajaman, kecerahan, dan densitas.

**Kata kunci:** *anode heel effect, FFD, pixel value, radiografi.*

### Cite this article (APA Style 7):

Normawati, S., Syahrir, S., Syahdan, N. F. Q., & Jumardin, J. (2026). Effect of Film Focus Distance Variation on Anode Heel Effect and Radiographic Image Quality Based on Pixel Value Parameters. *Media Ilmiah Kesehatan Indonesia*, 4(2), 118–130. <https://doi.org/10.58184/miki.v4i2.978>

Submitted: 3 May 2026; Received in revised form: 15 May 2026; Accepted: 9 May 2026; Published regularly: 24 May 2026

This is an open access article under [CC-BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Copyright © 2026 The Author(s)

## PENDAHULUAN

Pada bidang kedokteran, penggunaan radiasi pengion termasuk sinar-X sudah sangat umum dilakukan baik itu untuk terapi (Febriansyah *et al.*, 2025) maupun diagnostik (Marvellini, 2022). Pada tahun 1895, sinar-X ditemukan oleh Wilhelm Conrad Röntgen dan berlanjut dengan diproduksinya peralatan radiografi pertama untuk penggunaan diagnostik klinis. Prinsip dasar radiografi tidak mengalami perubahan, yaitu memproduksi suatu citra pada film reseptor dengan sumber radiasi dari suatu berkas sinar-X yang mengalami absorpsi dan atenuasi ketika melalui suatu materi (Seibert, 2004). Pemeriksaan radiodiagnostik merupakan bagian dari menegakkan diagnosis suatu penyakit di bidang kedokteran dengan memanfaatkan sinar-X yang akan menghasilkan sebuah citra atau gambar (Rayan *et al.*, 2025). Penggunaan sinar-X dibutuhkan teknik untuk mengurangi timbulnya efek negatif dari sinar-X dan untuk menghasilkan kualitas citra radiografi yang optimal. Oleh karena itu, diperlukan manajemen terhadap seluruh komponen yang terkait.

Salah satu unsur yang memengaruhi kualitas radiografi adalah tabung sinar-X. Terdapat dua komponen utama dalam tabung sinar-X, yaitu katoda dan anoda (Barati *et al.*, 2024) yang berperan penting menghasilkan sinar-X (Prabhu *et al.*, 2020). Sinar-X yang dihasilkan antara anoda dan juga katoda intensitas sinar-X nya tidak sama. Perbedaan intensitas sinar-X inilah yang disebut dengan istilah *heel effect* (Rosidah & Felayani, 2022). *Heel effect* itu sendiri merupakan fenomena karena adanya perbedaan intensitas sinar-X terhadap sudut kemiringan anoda (Adi & Iqbal, 2020). *Heel effect* juga dapat dipengaruhi oleh jarak fokus film (FFD) (Kusk *et al.*, 2021) dan luas lapangan penyinaran (Chou, 2021). *Heel effect* terjadi ketika foton yang dihasilkan dari sisi anoda tidak meninggalkan *tube*, karena adanya perbedaan sudut target menyebabkan beberapa foton intensitasnya melemah dan mengalami absorpsi pada sisi target. Sehingga intensitas sinar-X yang dihasilkan pada sisi anoda mengalami penurunan (Salleh *et al.*, 2014).

Fenomena *heel effect* ini dapat dimanfaatkan pada pemeriksaan bagian tubuh yang memiliki perbedaan ketebalan yang signifikan. Bagian tubuh yang memiliki perbedaan ketebalan dan tepat pada pemanfaatan anoda *heel effect* ini, yaitu abdomen, vertebrae lumbal (Fung & Gilboy, 2000), vertebrae thoracal, tulang panjang atau tungkai bawah (Fung & Gilboy, 2000). Adapun anatomi yang terdapat pada tungkai bawah, yaitu  $1/3$  *distal os femur* merupakan salah satu tulang terpanjang terkuat dan terberat di dalam tubuh karena seluruh tubuh ditopang oleh *femur* (Edirisinghe *et al.*, 2024). Pada bagian *distal os femur* melebar dan mempunyai dua tonjolan besar, yaitu condylus medial yang lebih besar dan condylus lateral yang lebih kecil (Grammens *et al.*, 2021). Hasil citra radiografi dapat dikatakan berkualitas jika secara akurat menampilkan anatomi pada daerah yang akan diperiksa, dan memberikan informasi yang tervisualisasi dengan baik untuk menegakkan diagnosis (Precht *et al.*, 2019). Adapun parameter yang akan diukur untuk melihat kualitas citra yang dihasilkan pada penelitian ini, yaitu *pixel value*. *Pixel value* merupakan nilai spesifik dari setiap piksel (Rubia-Bullen *et al.*, 2007). Setiap nilai pada *pixel value* inilah yang menunjukkan parameter *gray scale level*, yaitu kecerahan dan kehitaman citra digital berdasarkan rentang kategori hitam sampai putih dan memiliki rentang dinamik (Vicchiatti *et al.*, 2025). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi FFD pada anoda *heel effect* terhadap kualitas citra radiografi melalui parameter *pixel value*.

## METODE

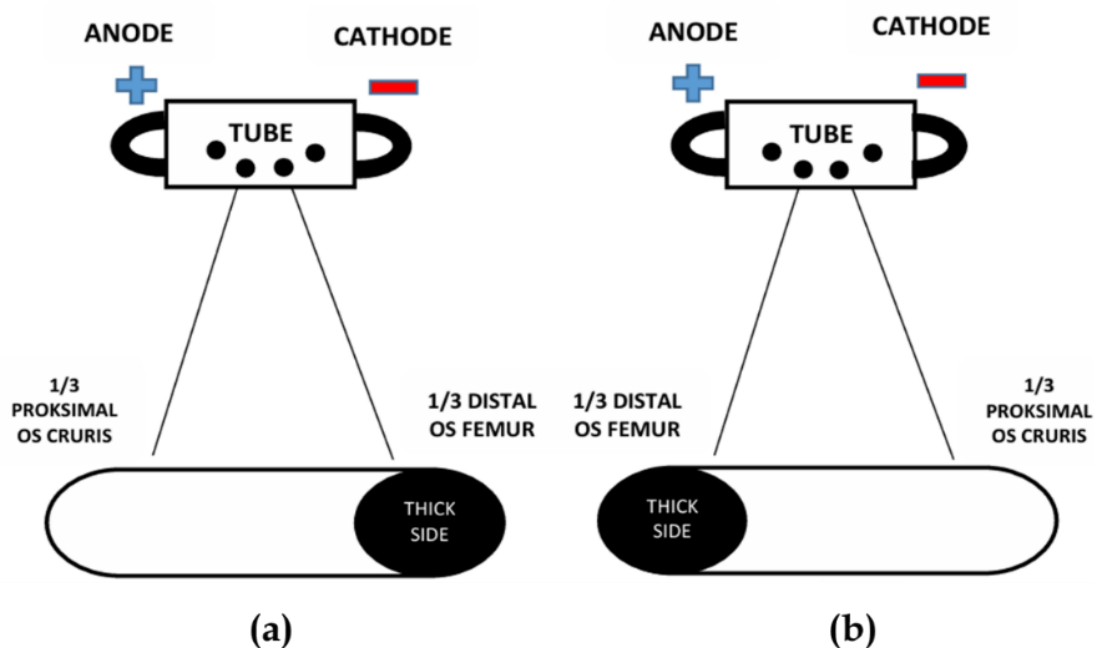
Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Kemudian, untuk mengetahui pengaruh variasi FFD pada anoda *heel effect* terhadap kualitas citra radiografi melalui parameter *pixel value* di Laboratorium Radiologi Politeknik Muhammadiyah

Makassar dengan melakukan variasi FFD dan posisi objek untuk menghasilkan kualitas citra yang optimal. Populasi pada penelitian ini adalah seluruh *phantom* yang ada di Laboratorium Radiologi dan sampel yang digunakan pada penelitian adalah *phantom* anatomi *articulatio genu*. Alat dan bahan yang digunakan, yaitu pesawat sinar-X (tipe: XD-51, 980102, 100 kV/100 mA, Hyundai), *phantom* (*articulatio genu*), imaging plate (merk: Agfa, ukuran 35 x 43 cm), processing film, *image console* dan PC set, image reader (merk: Agfa), HP, dan *software imageJ* (<https://imagej.net/ij/>). Adapun faktor eksposi yang digunakan dapat dilihat pada [Tabel 1](#).

**Tabel 1.** Faktor Eksposi Sinar-X

FFD (cm)	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Arus Listrik Tabung Sinar-X (mA)	Waktu (s)
90	60	40	0,12
100			
120			

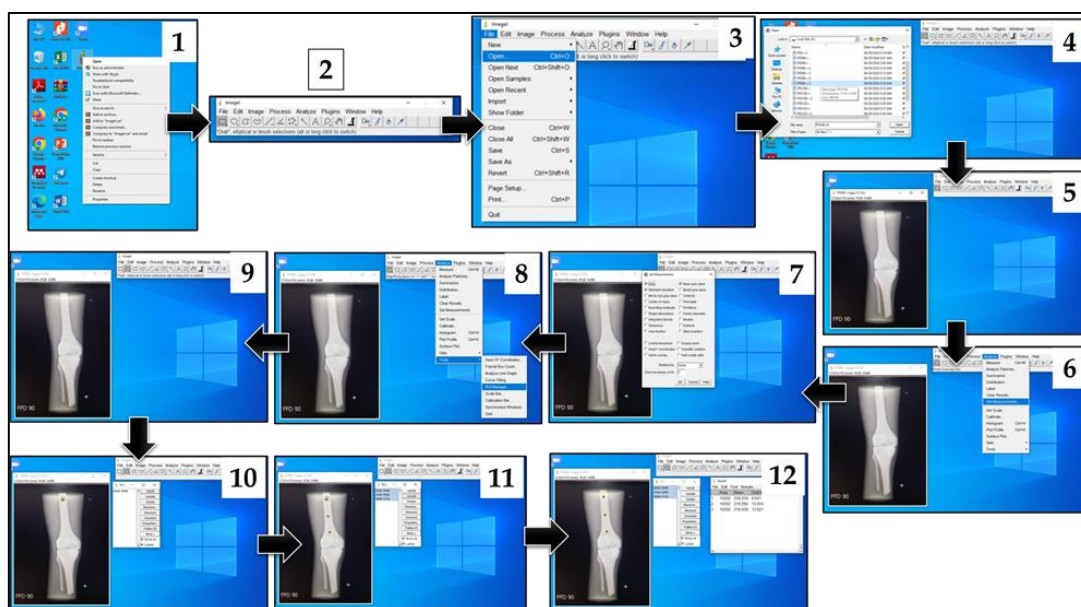
Teknik pengambilan sampel menggunakan *non-probability sampling* dengan jenis *purposive sampling* yang merupakan teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu (Sari et al., 2025). Menentukan pengambilan sampel dengan menetapkan ciri-ciri khusus yang sesuai dengan tujuan penelitian sehingga diharapkan dapat menjawab permasalahan penelitian (Ani et al., 2021). Instrumen penelitian berupa *software imagej*. Menganalisa secara langsung pengaruh variasi FFD, yaitu 90 cm, 100 cm, dan 120 cm pada anoda *heel effect* dengan menggunakan faktor eksposi yang sama dan melakukan variasi posisi objek dengan menempatkan sisi tebal objek pada sisi katoda (-) dan menempatkan sisi tebal objek pada sisi anoda (+) dengan menggunakan *phantom articulatio Genu* untuk melihat kualitas citra atau nilai *pixel value* (PV) yang dihasilkan, setelah itu melakukan pengukuran dengan menggunakan *software imageJ*. Hasil citra radiografi dengan format DICOM diekstrak ke *imageJ*. Selanjutnya dilakukan pengukuran nilai *pixel value* (PV), standar deviasi nilai *pixel*/Pixel Value Standar Deviation (PVSD) menggunakan *software imageJ*, dengan melakukan ROI (*Region of Interest*) pada titik tertentu pada objek yang akan digunakan.



**Gambar 1.** Ilustrasi Variasi Posisi Objek (a) Sisi Tebal pada Sisi Katoda (-) dan (b) Sisi Tebal pada Sisi Anoda (+)

Pengujian *heel effect* dilakukan pada objek yang memiliki ketebalan yang berbeda, yaitu *phantom articulatio genu* yang sisi tebal berada di 1/3 *distal os femur*. Kemudian melakukan variasi FFD dan variasi posisi objek. Pengujian *heel effect* ini dilakukan eksposi sebanyak 6 kali dengan variasi FFD, yaitu 90 cm, 100 cm, dan 120 cm dan variasi posisi objek yaitu, sisi tebal berada pada sisi katoda (-) dan sisi tebal berada pada sisi anoda (+).

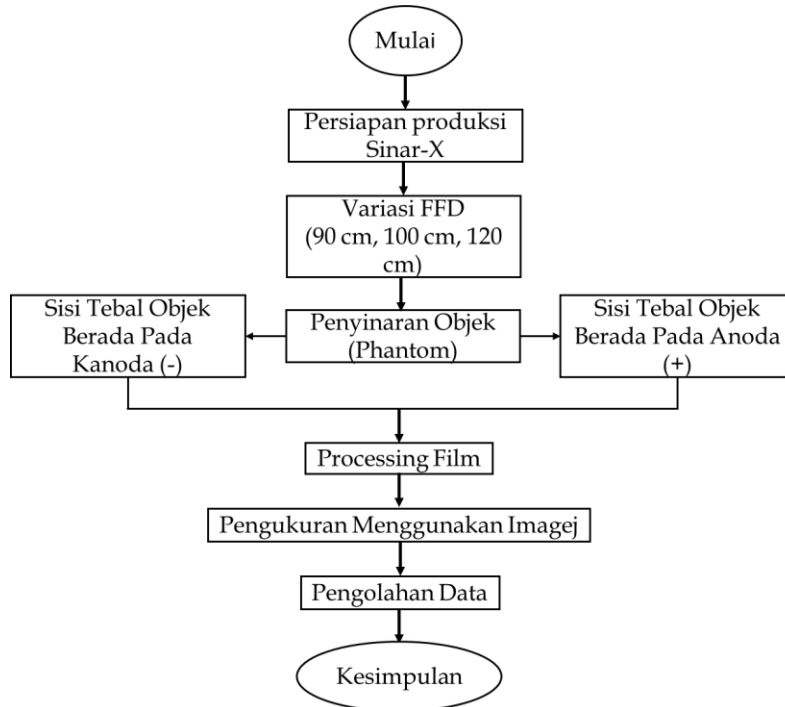
Gambar 1 (a) dan (b) mengilustrasikan penerapan prinsip *anode heel effect* pada pemeriksaan radiografi *articulatio genu* (sendi lutut), yang mencakup bagian 1/3 *distal os femur* (sisi yang lebih tebal atau *thick side*) dan 1/3 *proksimal os cruris* (sisi yang lebih tipis). Intensitas berkas sinar-X tidak homogen di seluruh area pancaran. Sisi katoda (-) menghasilkan intensitas radiasi yang lebih tinggi, sedangkan sisi anoda (+) menghasilkan intensitas yang lebih rendah akibat penyerapan sebagian sinar di dalam target anoda (*heel effect*). Gambar (a) adalah Sisi katoda (-) diarahkan pada 1/3 *distal os femur* yang memiliki densitas dan ketebalan lebih besar (*thick side*). Gambar (b) adalah sisi anoda (+) diarahkan pada 1/3 *proksimal os cruris* yang lebih tipis. Distribusi densitas digital (*pixel value*) pada citra radiografi akan menjadi lebih seragam (*uniform*) dari ujung *femur* hingga ujung *cruris*. Hal ini menjelaskan mengapa pada data FFD 100 cm anda sebelumnya, nilai kualitas citra dan homogenitasnya sangat optimal.



Gambar 2. Metode Penggunaan *Software ImageJ* dan Pengolahan Citra *Phantom Articulatio Genu*

Pengujian pada objek *phantom* menggunakan kaset ukuran 35 x 43 cm dengan menggunakan faktor eksposi 60 kV, 40 mA dan 0,12 s. Lalu meletakkan objek pada pertengahan IP dan meletakkan sisi tebal objek pada sisi Katoda (-) dengan menggunakan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm lalu ekspos. Setelah itu IP diproses dimasukkan ke image reader. Eksposi selanjutnya dilakukan dengan meletakkan sisi tebal objek pada sisi anoda (+) dengan faktor eksposi dan variasi FFD yang sama. Penggunaan *software imageJ* dan pengolahan citra berdasarkan hasil eksposi posisi FFD yang berbeda. Langkah penggunaannya adalah (1) Membuka aplikasi *software imageJ*. (2) Menampilkan menu *imagej* (Gambar 2). (3) Memilih menu *file* pada *task bar* dan klik *open* untuk memilih *file* gambar yang akan diukur. (4) Memilih *file* gambar yang akan diukur. (5) Menampilkan gambar seperti pada layar. (6) Memilih menu *analyze* pada *task bar*, kemudian memilih *set measurement* untuk indikator apa saja yang akan diukur. (7) Menampilkan gambar seperti di bawah ini, lalu pilih indikator yang akan diukur (8) Memilih menu *analyze* pada *task bar*, kemudian memilih *tools* dan memilih *ROI manager* untuk memudahkan penggunaan ROI di banyak titik dengan ukuran area yang sama. (9)

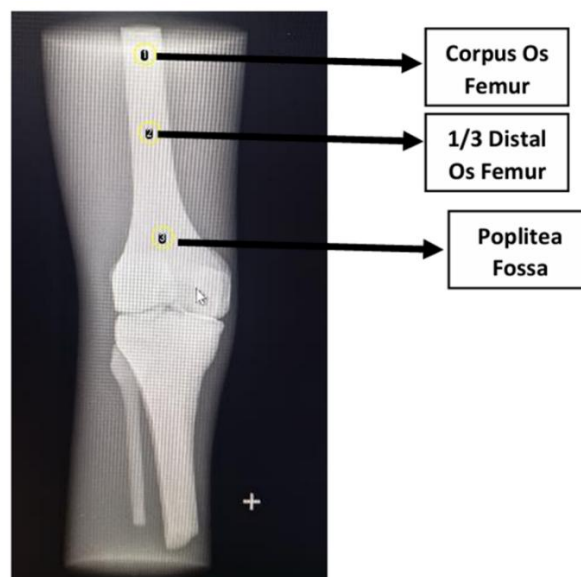
Memilih bentuk *oval* pada *task bar* untuk mengukur citra dengan area pengukuran dengan bentuk lingkaran. (10) Melakukan titik ROI pada daerah yang diinginkan, seperti pada gambar dan memilih opsi *show all* dan *labels*. Lalu klik *ADD* pada bar *ROI Manager*. (11) Melakukan beberapa ROI pada titik tertentu sesuai keinginan dan klik *ADD* lalu *Update*. (12) Memblok semua titik area ROI untuk dilakukan pengukuran dengan klik *measure* pada bar *ROI Manager*, maka akan muncul hasil yang dibutuhkan. Sistemasi dan alur penelitian dapat dilihat pada [Gambar 3](#).



**Gambar 3.** Alur penelitian

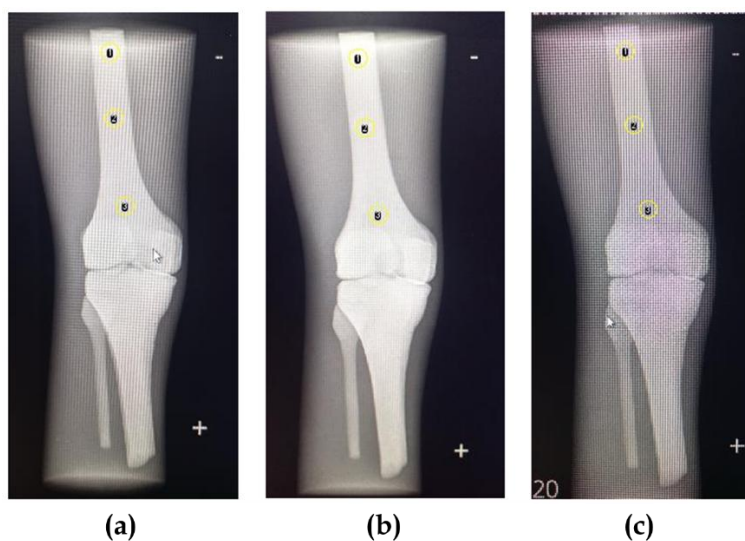
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil citra radiografi diekstrak dengan format DICOM untuk kemudian diolah dengan menggunakan *software imageJ*. Hasil pengukuran nilai *pixel value* dan nilai PVSD dengan melakukan ROI (*Region of Interest*) pada titik tertentu pada objek.



**Gambar 4.** Daerah ROI Pengukuran *Pixel Value*

**Gambar 4** menampilkan hasil radiograf sinar-X area sendi lutut dan tulang paha (*femur*) bagian bawah, lengkap dengan tiga penanda anatomi penting. *Corpus os femur* merupakan bagian badan utama dari tulang paha, sedangkan *1/3 distal os femur* merupakan sepertiga bagian bawah tulang paha yang letaknya paling dekat dengan sendi lutut. *Poplitea fossa* merupakan cekungan atau ruang kosong yang berada di bagian belakang lutut (*fossa poplitea*).



**Gambar 5.** Hasil Citra Radiografi FFD (a) 90 cm, (b) 100 cm dan (c) 120 cm

**Gambar 5** menunjukkan tiga variasi paparan radiografi objek *phantom* sendi lutut dan tulang paha yang diberi label (a), (b), dan (c). **Gambar 5** (a) menampilkan citra dengan kontras yang cukup seimbang. Detail struktur tulang (*trabecula*) dan batas jaringan lunak (*soft tissue*) di sekitarnya terlihat cukup jelas. **Gambar 5** (b) cenderung memiliki tingkat kecerahan (*brightness*) atau densitas citra yang sedikit lebih tinggi. Pada beberapa area tulang, visualisasinya tampak lebih putih terang (semi-opak). **Gambar 5** (c) menunjukkan penurunan kontras yang cukup signifikan atau memiliki efek bintik (*noise* atau *mottle*) yang lebih tinggi pada latar belakangnya. Warna citra tampak lebih keabu-abuan (*greyish*), yang biasanya terjadi akibat peningkatan tegangan kVp (radiasi hambur lebih banyak) atau penurunan dosis radiasi secara drastis. Ketiga gambar tersebut (a, b dan c) mengevaluasi bagaimana titik anatomi yang dibahas sebelumnya (*corpus os femur*, *1/3 distal os femur*, dan *Poplitea Fossa*) terlihat di bawah kondisi teknis pemotretan rontgen yang berbeda.

**Tabel 2.** Hasil uji nilai area, PV dan PVSD pada FFD yang berbeda pada sisi katoda (-)

Titik ROI	<i>Phantom Articulatio Genu - FFD</i>								
	90 cm			100 cm			120 cm		
	Area	PV	PVSD	Area	PV	PVSD	Area	PV	PVSD
1	16292	240.659	7.527	16292	239.598	5.375	16292	209.635	36.451
2	16292	232.406	7.079	16292	231.513	5.521	16292	194.260	42.789
3	16292	228.504	6.988	16292	226.905	9.312	16292	178.786	49.338

Nilai PV dan PVSD pada 3 titik ROI yang sama (luas area = 16292) menggunakan objek *Phantom Articulatio Genu* (sendi lutut) dengan variasi FFD sebesar 90 cm, 100 cm, dan 120 cm (**Tabel 2**). Karakteristik nilai PV merepresentasikan tingkat kecerahan atau densitas digital pada gambar radiografi. Tren data nilai PV mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak FFD dari 90 cm ke 120 cm pada ketiga titik ROI. Analisis fisika menunjukkan penurunan nilai PV ini sesuai dengan hukum kuadrat terbalik (*Inverse Square Law*). Ketika FFD ditingkatkan tanpa menaikkan faktor

eksposisi (mAs), intensitas radiasi yang mencapai detektor akan berkurang. Akibatnya, sinyal digital yang ditangkap lebih sedikit, ditandai dengan penurunan nilai PV (gambar menjadi lebih kompresif atau lebih gelap tergantung sistem pengolahan citra).

Karakteristik nilai PVSD merepresentasikan standar deviasi dari nilai piksel sedangkan radiografi digital digunakan sebagai indikator *noise* (derau) pada gambar (Tabel 2). FFD: 100 cm menunjukkan nilai PVSD paling rendah pada ROI 1 dan ROI 2, menandakan tingkat *noise* yang paling minim dan homogenitas gambar yang paling baik di antara ketiga pilihan jarak tersebut. FFD: 120 cm menghasilkan *noise* yang sangat tinggi (PVSD mencapai >36). Hal ini terjadi karena kuantitas sinar-X yang mencapai detektor terlalu sedikit (*quantum mottle*), sehingga menurunkan kualitas dan kejelasan citra secara signifikan. Di setiap FFD, nilai PV dan PVSD berubah di antara ROI 1, ROI 2, dan ROI 3. Hal ini wajar karena struktur anatomi *phantom* lutut (*articulatio genu*) memiliki ketebalan dan kerapatan materi yang berbeda (misalnya perbedaan antara jaringan lunak, tulang kortikal, dan tulang trabekular).

**Tabel 3.** Nilai tertinggi dan rata-rata objek *Articulatio Genu* (-)

<i>Articulatio Genu</i>	Nilai Tertinggi Objek		Nilai Rata-Rata	
	PV	PVSD	PV	PVSD
<b>FFD-90 cm</b>	240.659	7.527	233.856	7.198
<b>FFD-100 cm</b>	239.598	5.375	232.672	6.736
<b>FFD-120 cm</b>	209.635	36.451	194.227	42.859

Data di atas merupakan ringkasan yang menyajikan nilai tertinggi (*Maximum Value*) dan nilai rata-rata (*Mean Value*) dari parameter PV dan PVSD untuk objek *Articulatio Genu* pada ketiga variasi FFD (Tabel 3). Konsistensi penurunan intensitas citra terlihat dari nilai tertinggi dan nilai rata-rata PV yang menurun seiring bertambahnya FFD. Nilai tertinggi adalah turun dari 240.659 (FFD: 90) menjadi 209.635 (FFD: 120). Nilai rata-rata turun dari 233.856 (FFD: 90) menjadi 194.227 (FFD: 120). Hal ini membuktikan secara empiris hukum kuadrat terbalik (*Inverse Square Law*). Tanpa kompensasi kenaikan faktor eksposisi (mAs), penambahan jarak FFD menurunkan kuantitas foton sinar-X yang mencapai kaset atau detektor secara keseluruhan di seluruh area objek.

Tabel 3 menunjukkan tren nilai rata-rata PVSD memberikan gambaran kualitas citra yang lebih representatif dibandingkan data per ROI sebelumnya. Pada saat FFD: 90 cm, rata-rata PVSD adalah 7.198. FFD: 100 cm, rata-rata PVSD turun ke titik terendah, yaitu 6.736. FFD: 120 cm, rata-rata PVSD melonjak drastis hingga 42.859. Penurunan nilai rata-rata PVSD pada FFD 100 cm menunjukkan bahwa sebaran *noise* pada jarak ini adalah yang paling homogen dan minimal di seluruh area objek citra. Lonjakan drastis nilai rata-rata PVSD pada FFD 120 cm mengonfirmasi terjadinya *quantum mottle* (citra tampak granular atau berbintik) yang parah di seluruh area gambar akibat kekurangan dosis radiasi (*underexposure*). Data rata-rata tersebut memperkuat bahwa FFD 100 cm memberikan kualitas citra radiografi yang paling optimal untuk objek *Articulatio Genu*. Jarak ini menghasilkan keseimbangan terbaik dimana nilai kecerahan (PV) yang optimal dan stabil, serta tingkat gangguan atau derau citra (PVSD) yang paling rendah secara keseluruhan.

**Tabel 4.** Persentase Perbedaan Nilai PV pada Objek *Articulatio Genu* (-)

FFD	PV	Persentase (%)	Selisih (%)
<b>90 cm</b>	233.856	100,00	0 (Acuan)
<b>100 cm</b>	232.672	99,49	-0,51
<b>120 cm</b>	194.227	83,05	-16,95

Tabel 4 menampilkan perubahan jarak 90 cm ke 100 cm menunjukkan penurunan nilai PV sangat kecil, yaitu 0,51%. Hal ini menunjukkan densitas gambar relatif stabil dan tidak banyak kehilangan intensitas. Perubahan Jarak 100 cm ke 120 cm terjadi penurunan drastis sebesar 16,95% dari total kondisi awal. Penurunan tajam inilah yang menyebabkan nilai *noise* (PVSD) pada FFD 120 cm melonjak tinggi seperti pada data sebelumnya.

Stabilitas pada FFD: 100 cm menunjukkan perubahan jarak dari FFD 90 cm ke FFD 100 cm hanya menurunkan nilai PV sebesar 0,51%. Penurunan yang sangat tipis ini menandakan bahwa penambahan jarak sepanjang 10 cm tidak mengurangi intensitas radiasi secara signifikan pada detektor, sehingga derajat kecerahan gambar tetap terjaga secara optimal. Depresiasi tajam pada FFD: 120 cm memperlihatkan hal sebaliknya, ketika jarak FFD ditingkatkan menjadi 120 cm, terjadi penurunan nilai PV yang sangat drastis sebesar 16,95% dari nilai acuan. Penurunan densitas digital yang signifikan ini merupakan visualisasi nyata dari hukum kuadrat terbalik (*Inverse Square Law*), di mana kuantitas foton sinar-X yang mencapai detektor berkurang drastis akibat perluasan area pancaran berkas sinar.

**Tabel 5.** Hasil Uji Nilai Area, PV dan PVSD pada FFD yang Berbeda pada Sisi Anoda (+)

Titik ROI	<i>Phantom Articulatio Genu - FFD</i>								
	90 cm			100 cm			120 cm		
	Area	PV	PVSD	Area	PV	PVSD	Area	PV	PVSD
1	16292	221.126	20.657	16292	215.935	6.557	16292	207.709	10.877
2	16292	204.289	23.025	16292	200.731	21.042	16292	205.270	11.230
3	16292	202.201	27.881	16292	198.785	17.409	16292	195.368	43.965

Berdasarkan hasil uji nilai area, PV, dan PVSD pada *phantom articulatio genu* di sisi anoda (+) adalah analisis dan interpretasi fisisnya konsistensi luas ROI dengan nilai area di semua titik (1, 2, 3) dan seluruh variasi FFD (90 cm, 100 cm, 120 cm) adalah konstan di angka 16.292 (Tabel 5). Hal ini menunjukkan penentuan batas-batas ROI dilakukan secara konsisten dan akurat, sehingga perubahan nilai PV murni dipengaruhi oleh faktor fisis paparan radiasi, bukan perbedaan ukuran sampling. Secara umum, terjadi penurunan nilai PV seiring dengan bertambah panjangnya FFD pada sisi anoda (kecuali deviasi kecil pada titik 2, FFD: 120 cm). Pada titik 1 mengalami penurunan PV paling konsisten, yaitu dari 221.126 (FFD: 90 cm), 215.935 (FFD: 100 cm) hingga 207.709 (FFD: 120 cm). Titik 3 mengalami tren penurunan serupa, yaitu 202.201, 198.785 hingga 195.368. Hal ini sesuai dengan hukum kuadrat terbalik (*Inverse Square Law*). Semakin jauh FFD, intensitas radiasi yang mencapai detektor akan semakin menurun. Mengingat ini berada di sisi anoda (+) yang secara alami sudah mengalami pelemahan akibat anode heel effect, peningkatan FFD semakin menurunkan nilai kecerahan atau densitas piksel digitalnya.

PVSD mengindikasikan tingkat variasi atau sebaran nilai piksel pada ROI (tingkat *noise* atau homogenitas). Pada FFD: 100 cm menunjukkan nilai PVSD yang cenderung paling stabil dan rendah pada titik 1 (6.557) dan titik 3 (17.409). Hal ini mengindikasikan distribusi piksel yang paling homogen pada jarak standar tersebut. Lonjakan PVSD pada Titik 3 FFD 120 cm: Nilai PVSD melonjak tajam hingga 43.965. Hal ini menandakan adanya *noise* yang tinggi atau penurunan homogenitas citra yang signifikan pada area tersebut akibat berkurangnya kuantum foton yang mencapai detektor di sisi anoda pada jarak jauh.

Tabel 6 menampilkan ringkasan nilai tertinggi dan nilai rata-rata pada objek *Articulatio Genu* di sisi anoda. Korelasi jarak adalah baik nilai PV tertinggi maupun nilai PV rata-rata menunjukkan penurunan linier seiring bertambahnya FFD. PV tertinggi pada (221.126), (215.935) hingga (207.709). PV rata-rata adalah (209.205), (205.150) hingga (202.782). Analisis fisis penurunan

ini membuktikan berlakunya *Inverse Square Law* (Hukum Kuadrat Terbalik). Intensitas radiasi berkurang saat jarak (FFD) menjauh, yang berdampak pada penurunan nilai kecerahan digital (PV) di sisi anoda. FFD: 100 cm sebagai jarak paling stabil.

**Tabel 6.** Nilai Tertinggi dan Rata-Rata Objek *Articulatio Genu* (+)

<i>Articulatio Genu</i>	Nilai Tertinggi Objek		Nilai Rata-Rata	
	PV	PVSD	PV	PVSD
<b>FFD-90 cm</b>	221.126	20.657	209.205	23.854
<b>FFD-100 cm</b>	215.935	6.557	205.150	13.820
<b>FFD-120 cm</b>	207.709	10.877	202.782	22.024

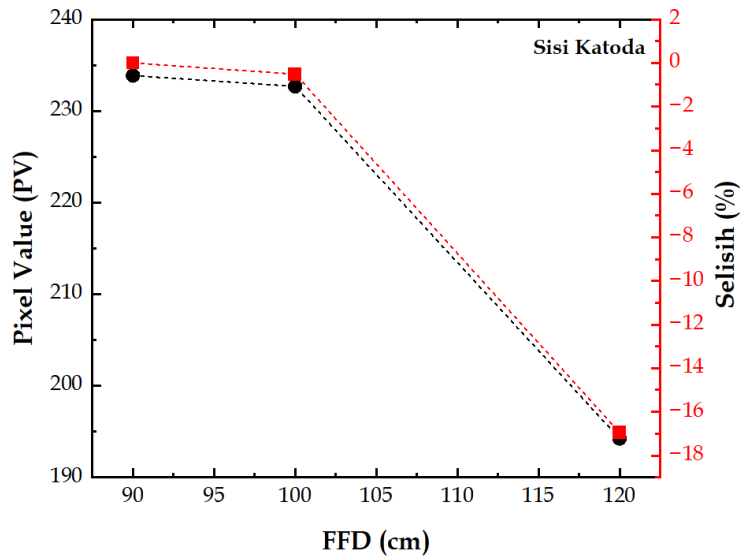
Nilai PVSD terendah dicapai pada FFD: 100 cm, baik pada titik nilai tertinggi (6.557) maupun pada nilai rata-rata (13.820). Analisis fisis untuk nilai PVSD yang rendah menunjukkan bahwa sebaran nilai piksel pada ROI sangat homogen. Ini berarti pada FFD 100 cm, citra memiliki tingkat *noise* paling rendah dan sebaran densitas yang paling merata (paling stabil) dibandingkan FFD: 90 cm dan 120 cm. Pada FFD: 90 cm, nilai rata-rata PVSD tinggi (23.854) akibat paparan intensitas radiasi yang terlalu tinggi dan tidak merata (*anode heel effect* sangat kuat). Pada FFD: 120 cm, nilai rata-rata PVSD kembali naik (22.024) karena kekurangan kuantum foton (sinar-X) yang sampai ke detektor di sisi anoda, memicu timbulnya *quantum mottle* (*noise* citra).

**Tabel 7.** Persentase Perbedaan Nilai PV pada Objek *Articulatio Genu* (+)

FFD	PV	Persentase (%)	Selisih (%)
<b>90 cm</b>	209.205	100,00	0 (Acuan)
<b>100 cm</b>	205.150	98,06	-1,94
<b>120 cm</b>	202.782	96,93	-3,07

Berbeda dengan data *Articulatio Genu* sebelumnya yang turun drastis hingga -16,95% pada FFD 120 cm sedangkan data pada [Tabel 7](#) menunjukkan penurunan nilai PV yang sangat stabil dan landai (hanya berkurang 3,07% dari total kondisi awal). Hal ini menandakan adanya faktor kompensasi eksposisi atau karakteristik objek atau titik ROI berbeda yang mampu menahan laju penurunan intensitas radiasi. [Tabel 7](#) terlihat penurunan nilai PV seiring bertambahnya jarak. Ketika jarak FFD ditingkatkan dari 90 cm menjadi 100 cm dan kemudian 120 cm, nilai PV mengalami penurunan dari 209.205 menjadi 202.782. Pada FFD: 100 cm, nilai PV menurun sebesar 1,94% dibanding acuan. Pada FFD: 120 cm, nilai PV menurun lebih jauh sebesar 3,07% dibanding acuan.

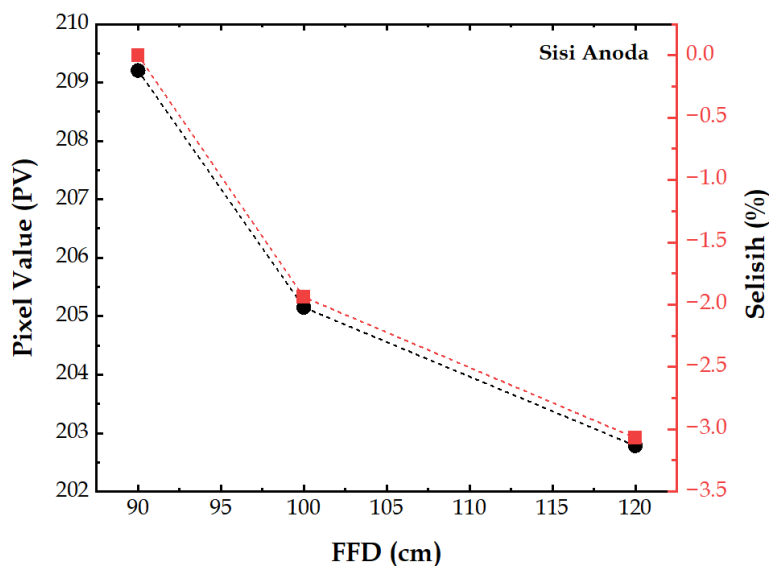
Hasil tersebut sangat sesuai dengan prinsip fisika radiologi mengenai hukum kuadrat terbalik. Ketika FFD atau jarak tabung X-ray ke detektor diperbesar. Pada saat intensitas radiasi menurun, maka kuantitas foton sinar-X yang mencapai reseptor gambar (*image receptor*) akan berkurang secara kuadratis seiring bertambahnya jarak. Efek pada citra digital (PV) menunjukkan penurunan intensitas radiasi yang sampai ke detektor menyebabkan nilai eksposur digital ikut mengalami penurunan atau pergeseran densitas. Meskipun nilai PV menurun, pada aplikasi klinis nyata, peningkatan FFD (misalnya dari 90 cm ke 100-120 cm) sering kali dipilih karena memiliki keuntungan besar, yaitu mengurangi dosis radiasi yang diserap oleh pasien (*Entrance Skin Dose*) serta memperkecil efek magnifikasi (kekaburan geometris) sehingga detail gambar anatomi menjadi lebih tajam.



**Gambar 6.** Grafik hubungan nilai FFD terhadap nilai PV dan selisih terhadap acuan (sisi katoda)

Sumbu y sebelah kiri (Hitam - Lingkaran) merepresentasikan nilai PV dari 233,856 turun ke 194,227 (Gambar 6). Sumbu y sebelah kanan (Merah - Kotak) merepresentasikan nilai selisih (%) dari 0% turun hingga kisaran -16,95%. Berdasarkan perhitungan statistik pada data baru, rumus hubungan antara jarak FFD ( $x$ ) dan nilai *Pixel Value* ( $y$ ) adalah ( $y = -1,3993 + 363,18x$ ). Koefisien Determinasi ( $R^2$ ) = 0,8417 (menunjukkan akurasi tren linier sebesar 84,17%). Setiap kenaikan jarak FFD sebesar 1 cm, terjadi penurunan nilai *pixel value* rata-rata sebesar 1,3993 unit (efek penurunan jauh lebih tajam dibanding data pertama).

Karakteristik sisi katoda (*anode heel effect*) pada bidang ilmu fisika radiografi menunjukkan intensitas sinar-X tidak tersebar merata secara horizontal akibat sudut target anoda. Sisi katoda selalu menerima intensitas radiasi yang lebih tinggi dan lebih seragam dibandingkan sisi anoda. Stabilitas di jarak dekat (90 cm - 100 cm) terlihat bahwa dari FFD 90 cm ke 100 cm, grafik cenderung landai. Sisi katoda yang kaya foton mampu mempertahankan densitas tinggi (PV hanya turun tipis sebesar -0,51%). Penurunan tajam di jarak jauh (100 cm - 120 cm) ketika jarak ditambah menjadi 120 cm, hukum kuadrat terbalik mulai mendominasi secara signifikan. Berkurangnya konsentrasi foton per satuan luas menyebabkan nilai PV jatuh drastis hingga menyentuh angka 194,227 (-16,95%).



**Gambar 7.** Grafik hubungan nilai FFD terhadap nilai PV dan selisih terhadap acuan

Tren grafik linear menurun semakin jauh jarak tabung ke detektor (FFD), nilai densitas digital atau PV mengalami penurunan yang konstan (**Gambar 7**). Korelasi negatif menunjukkan perubahan FFD berbanding terbalik dengan nilai PV akibat melemahnya intensitas radiasi yang diterima oleh sensor (*Inverse Square Law*). Berdasarkan perhitungan statistik, hubungan antara jarak FFD (x) dan nilai *Pixel Value* (y) dapat dirumuskan melalui persamaan linear ( $y = -0,2004x + 226,42$ ). Koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,8884 (menunjukkan akurasi tren linier sebesar 88,8%). Setiap kenaikan jarak FFD sebesar 1 cm akan menurunkan nilai PV sebesar 0,2004 unit.

Berbeda dengan sisi katoda, sisi anoda secara alami menghasilkan intensitas paparan radiasi yang lebih rendah. Hal ini terjadi karena sebagian foton sinar-X yang terbentuk pada target mengalami penyerapan (*self-absorption*) oleh tumit target anoda itu sendiri sebelum keluar dari tabung. Nilai awal lebih rendah pada FFD acuan (90 cm), nilai PV di sisi anoda dimulai dari 209.205, angka ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai awal sisi katoda yang mencapai 233.856. Tren penurunan lebih landai saat FFD dinaikkan ke 120 cm, nilai PV hanya turun menjadi 202.782 dengan persentase selisih maksimal -3,07%. Sisi katoda penurunannya sangat curam dari 90 cm ke 120 cm (selisih mencapai -16,95%). Hal ini menunjukkan bahwa wilayah pancaran yang kaya foton (katoda) sangat sensitif terhadap perubahan jarak geometris FFD. Sisi anoda grafiknya menurun dengan pola yang lebih konsisten dan landai karena sejak awal intensitas foton di area ini sudah jauh lebih lemah dan tereduksi oleh struktur fisik anoda.

## SIMPULAN

Variasi *Focus-Film Distance* (FFD) dan posisi objek memengaruhi pemanfaatan *anode heel effect* terhadap kualitas citra radiografi berdasarkan parameter *Pixel Value* (PV). Nilai PV tertinggi diperoleh pada penggunaan FFD pendek ketika sisi tebal objek diletakkan pada sisi katoda, sedangkan penempatan sisi tebal objek pada sisi anoda menyebabkan penurunan nilai PV sekitar 11%. Selain itu, FFD 100 cm menunjukkan kualitas citra yang lebih optimal karena memiliki nilai PV yang stabil dan PVSD yang lebih rendah, sehingga citra tampak lebih homogen dengan derau yang minimal. Dengan demikian, pemanfaatan *anode heel effect* secara tepat dapat membantu menghasilkan citra radiografi yang lebih merata dari aspek ketajaman, kecerahan, dan densitas.

## PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Penulis menyatakan bahwa kontribusi setiap penulis terhadap pembuatan karya tulis ini adalah SN sebagai kontributor utama/korespondensi/merancang penelitian, penulis kedua SS sebagai anggota menganalisis data. Penulis ketiga NFQS merancang penelitian, konseptualisasi, pengumpulan data, analisis data, koreksi analisis data, koreksi bahasa dan penulisan. Penulis ketiga JJ koreksi analisis data, koreksi bahasa dan penulisan.

## PERNYATAAN KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis telah menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan pihak manapun terkait penerbitan artikel ini.

## REFERENSI

Adi, E. P., & Iqbal, M. (2020). Comparison of radiograph image information on lumbar vertebrae examination using the application of the anode heel effect theory. *Journal of Physics: Conference Series*, 1517(1), Article 012052. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1517/1/012052>

- Ani, J., Lumanauw, B., & Tampenawas, J. L. A. (2021). The Influence of Brand Image, Promotion, and Service Quality on Consumer Purchasing Decisions on Tokopedia E-Commerce in Manado City. *Jurnal Emba*, 9(2), 663–674. <https://doi.org/10.35794/emba.v10i1.38279>
- Barati, B., Kaydani, M., Birgani, F. F., Zabihzadeh, M., Tahmasebi, M. J., & Chegeni, N. (2024). The effect of anode, hot and cold cathode structures used in miniature X-ray tubes on X-ray output using Monte Carlo simulation. In A. Abou Jaoudé (Ed.), *Recent advances in Monte Carlo methods*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001904>
- Chou, M. C. (2021). Evaluation of non-uniform image quality caused by anode heel effect in digital radiography using mutual information. *Entropy*, 23(5), 525. <https://doi.org/10.3390/e23050525>
- Edirisinghe, S., De-Silva, D., Dissanayake, H., Yasawardene, S., Devmini, M., Pathmaperuma, S., & De-Zoysa, N. (2024). Anatomical Diversity in Femur bones: Understanding the Morphological Variability for Surgical and Prosthetic Applications. *International Journal of morphology*, 42(1), 162–165. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022024000100162>
- Febriansyah, T. N., Pratiwi, B. N., Pramono, S., Sardjono, Y., Triatmoko, I. M., Wijaya, G. S., Prasetio, H., Hidayati, N. R., Nuraeni, N., Ulya, S., & Ismail, Z. (2025). Dose Analysis of Prostate Cancer Therapy with X-Ray Therapy using PHITS Program Version 3.341. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega*, 27(1), 49–58. <https://doi.org/10.55981.tdm.2025.7158>
- Fung, K. K., & Gilboy, W. B. (2000). "Anode heel effect" on patient dose in lumbar spine radiography. *The British Journal of Radiology*, 73(869), 531–536. <https://doi.org/10.1259/bjr.73.869.10884750>
- Grammens, J., Van Haver, A., Danckaers, F., Booth, B., Sijbers, J., & Verdonk, P. (2021). Small medial femoral condyle morphotype is associated with medial compartment degeneration and distinct morphological characteristics: a comparative pilot study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 29(6), 1777–1789. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06218-8>
- Kusk, M. W., Jensen, J. M., Gram, E. H., Nielsen, J., & Precht, H. (2021). Anode heel effect: Does it impact image quality in digital radiography? A systematic literature review. *Radiography*, 27(3), 976–981. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2021.02.014>
- Marvellini, R. Y. (2022). Medical Students' Knowledge Level about X-Ray as a Diagnostic Support Tool at Universitas Kristen Indonesia, Jakarta Batch 2016. *International Journal of Health Sciences and Research*, 12(2), 318–328. <https://doi.org/10.52403/ijhsr.20220242>
- Prabhu, S., Naveen, D. K., Bangera, S., & Subrahmanya Bhat, B. (2020). Production of x-rays using x-ray tube. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1712(1), Article 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1712/1/012036>
- Precht, H., Hansson, J., Outzen, C., Hogg, P., & Tingberg, A. (2019). Radiographers' perspectives' on Visual Grading Analysis as a scientific method to evaluate image quality. *Radiography*, 25, S14–S18. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2019.06.006>
- Rayan, A. M., Adam, A., Al-Arabi, G., & Ahmed, M. R. (2025). The applications of X-ray technology in medical imaging: advances, challenges, and future perspectives (A review). *Journal of Sustainable Food, Water, Energy and Environment*, 1(2), 39–61. <https://doi.org/10.21608/jsfw.2025.409882.1003>
- Rosidah, S., & Felayani, F. (2022). Effect of Heel Effect Anode on Image Homogeneity Based on X-Ray Collimation Light Beam Area. *Jurnal EduHealth*, 13(01), 400–406.
- Rubia-Bullen, I. R. F., Escarpinati, M. C., Schiabel, H., Vieira, M. A. D. C., Rubira, C. M. F., & Lauris, J. R. P. (2007). Digitizing radiographic films: a simple way to evaluate indirect digital

images. *Journal of Applied Oral Science*, 15(1), 14–17. <https://doi.org/10.1590/S1678-77572007000100004>

Salleh, H., Samat, S., Matori, M. K., Md Isa, M. J., Arshad, M. R., Azizan, S. A., Abdul Rahman, M. F., & Md Zin, M. K. (2014, October 14–16). *Heel effect: Dose mapping and profiling for mobile C-arm fluoroscopy unit Toshiba SXT-1000A* [Oral presentation]. Research and Development Seminar 2014, Bangi, Malaysia. International Atomic Energy Agency. <https://doi.org/10.13140/2.1.3222.0161>

Sari, A. R., Al Husnawati, H., Suryono, J., Marzuki, M., & Mulyapradana, A. (2025). *Metode Penelitian Kualitatif, Kuantitatif, dan R&D*. YPAD Penerbit; Yogyakarta.

Seibert, J. A. (2004). X-ray imaging physics for nuclear medicine technologists. Part 1: Basic principles of x-ray production. *Journal of nuclear medicine technology*, 32(3), 139–147.

Vicchietti, M.L., Ramos, F.M. & Campanharo, A.S.L.O. Pattern and structural detection in grayscale images through the application of quantile graphs in higher-dimensional spaces. *Scientific Reports*, 15(1), 44356. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27825-w>