

**ANALISIS TEKNIK *HEEL EFFECT* TERHADAP DENSITAS
DAN VARIASI *FOCUS FILM DISTANCE* (FFD) PADA
PEMERIKSAAN *PEDIS* PROYEKSI AP**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Pendidikan Diploma Tiga Pada Politeknik Kesehatan TNI AU
Adisutjipto



Mega Putri Ramandani

NIM. 21230014

**PRODI D3 RADIOLOGI
POLTEKKES TNI AU ADISUTJIPTO YOGYAKARTA
YOGYAKARTA**

2024

LEMBAR PENGSAHAN
ANALISIS TEKNIK *HEEL EFFECT* TERHADAP DENSITAS DAN
VARIASI *FOCUS FILM DISTANCE* (FFD) PADA PEMERIKSAAN *PEDIS*
PROYEKSI AP

Dipersiapkan dan disusun oleh
MEGA PUTRI RAMANDANI

Pada tanggal / /2024

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing 1

Ketua Dewan Penguji

M. Sofyan, S.ST., M.Kes
NIDN: 0808048602

Delfi Iskardyani, S.Pd., M.Si
NIDN: 0523099101

Pembimbing 2

Redha Okta Silfina M. Tr. Kes
NIDN: 0514109301

Tugas Akhir ini Telah Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar D3 Radiologi

Tanggal / /2024

Redha Okta Silfina M. Tr. Kes
Ketua Program Studi D3 Radiologi

SURAT PERNYATAAN
TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT

Saya menyatakan bahwa Karya Tulis Ilmiah yang berjudul “Analisis Densitas Dengan Teknik *Heel Effect* Pada Pemeriksaan *Pedis* Proyeksi AP” ini sepenuhnya karya saya sendiri. Tidak ada bagian didalamnya yang merupakan plagiat dari karya orang lain dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan keilmuan yang berlaku. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko atau sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila kemudian ditemukan pelanggaran etika keilmuan dalam karya saya ini, atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian saya.

Yogyakarta, Mei 2024

Yang membuat pernyataan

Mega Putri Ramandani

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas segala rahmat yang dilimpahkan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan waktu yang telah ditentukan. Dengan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Teknik *Heel Effect* Terhadap Densitas Dan Variasi *Focus Film Distance* (FFD) Pada Pemeriksaan *Pedis* Proyeksi Ap”.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini ini tidak akan lepas dari segala bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Kolonel (Purn) dr. Minto Sumego, MS yang kami hormati selaku direktur Poltekkes TNI AU Adisutjipto.
2. Ibu Redha Okta Silfina, M.Tr.Kes selaku Ketua Program Studi D3 Radiologi.
3. Bapak M. Sofyan, S.ST., M.Kes selaku dosen pembimbing 1 yang telah banyak memberikan bimbingan, saran dan masukan kepada penulis dengan penuh kesabaran dan perhatian hingga akhir penulisan.
4. Ibu Delfi Iskardyani, S.Pd., M.Si. Selaku DPA.
5. Kepada Mbah Kakung (alm) dan Mbah Putri yang telah merawat dan membesarkan saya sejak bayi dan berkontribusi penuh atas pendidikan saya selama ini tanpa bantuan orang lain.
6. Kepada Bapa, Ibu, Mas, Adek dan keluarga yang lainnya yang sudah mendoakan saya dan menyayangi saya dengan penuh suka cita.
7. Saya sendiri, Mega Putri Ramandani atas segala kerja keras dan semangatnya sehingga tidak pernah menyerah dan mengeluh dalam mengerjakan tugas akhir ini. Semoga saya tetap rendah hati, karena ini adalah awal baru dari semuanya.

8. Kepada partner jalannya tugas akhir Qorin, Upii, Putri dan Nii yang selalu ada dan bersedia mendengarkan keluh kesah saya selama ini dan saya sangat berterimakasih atas segala hal yang telah dilakukan untuk meningkatkan semangat.
9. Sahabat tercinta yang selalu ada saat senang dan sedih meskipun kita sekarang berjauhan dan sedang mengejar impian kalian masing-masing percayalah saya akan selalu ingat kalian Manos, Yesi, Lintan, Wewos, Sintya, Gina, Azzah, dan Zinda.
10. Keluarga besar kost pink 2 Qolbi, Stefani, Yana, Dina, Intan dan Ruri yang saat ini kita sama-sama akhir semester berjuang semoga cepat selesai dan segera wisuda.
11. Teman-teman kelas yang sudah memberikan semangat dan dukungannya selama ini semoga suatu saat kita bisa berkumpul kembali seperti saat kita masih duduk dibangku kuliah sampai jumpa lagi semuanya.
12. Seseorang yang belum bisa ku tulis dengan jelas namanya disini, namun sudah tertulis jelas di *Lauhul Mahfudz* untukku. Terimakasih sudah menjadi sumber motivasi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai salah satu bentuk memantaskan diri. Meskipun saat ini penulis tidak tahu keberadaanmu entah di bumi bagian mana atau menggenggam tangan siapa. Sepeti kata Bj Habibie “Kalau memang dia dilahirkan untuk saya, kamu jungkir balikpun saya yang dapat”.

Tugas Akhir ini merupakan karya yang dapat penulis persembahkan dalam penyelesaian program studi Radiologi. Penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Yogyakarta, Mei 2024

Mega Putri Ramandani

NIM: 21230014

ANALISIS TEKNIK *HEEL EFFECT* TERHADAP DENSITAS DAN VARIASI *FOCUS FILM DISTANCE (FFD)* PADA PEMERIKSAAN *PEDIS* PROYEKSI AP

Mega Putri Ramandani ¹⁾, M. Sofyan ¹⁾

¹ Politeknik Kesehatan TNI AU Adisutjipto Yogyakarta

INTISARI

Latar Belakang: *Heel Effect* adalah fenomena penting dalam radiologi yang terjadi ketika intensitas sinar-X bervariasi antara sisi anoda dan katoda dalam tabung sinar-X. Fenomena ini berdampak signifikan pada distribusi sinar dan kualitas citra radiografi, khususnya pada pemeriksaan tulang seperti *Ossa Pedis*. Oleh karena itu, pemahaman tentang *Heel Effect* sangat penting untuk meningkatkan akurasi diagnosis.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana *Heel Effect* memengaruhi densitas citra pada pemeriksaan *Ossa Pedis* proyeksi AP. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi pengaruh variasi *Focus Film Distance (FFD)* terhadap distribusi intensitas sinar-X dan perbedaan *Pixel Value (PV)* antara sisi anoda dan katoda.

Metode: Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini dengan pengambilan citra radiografi *Ossa Pedis* pada FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm. Objek ditempatkan sedemikian rupa sehingga bagian tebal menghadap katoda dan bagian tipis menghadap anoda, untuk memaksimalkan pengaruh *Heel Effect* dalam analisis.

Hasil: Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam PV antara sisi anoda dan katoda. Intensitas sinar-X lebih tinggi di sisi katoda, sesuai dengan prediksi *Heel Effect*. Selain itu, semakin besar jarak FFD, perbedaan PV antara kedua sisi semakin berkurang, menunjukkan bahwa peningkatan FFD dapat mengurangi dampak *Heel Effect* pada citra.

Kesimpulan: *Heel Effect* memengaruhi densitas citra pada pemeriksaan *Ossa Pedis* proyeksi AP, dengan intensitas sinar-X yang lebih tinggi di sisi katoda. Variasi FFD memengaruhi perbedaan PV, di mana jarak FFD yang lebih besar cenderung mengurangi dampak *Heel Effect*, sehingga pemilihan FFD yang tepat penting dalam praktik radiografi.

Kata Kunci : *Heel Effect, Ossa Pedis, FFD, Pixel Value*

¹ Mahasiswa Program Studi D3 Radiologi Poltekkes TNI AU Adisutjipto Yogyakarta

² Dosen Program Studi D3 Radiologi Poltekkes TNI AU Adisutjipto Yogyakarta

ANALYSIS OF HEEL EFFECT TECHNIQUE ON DENSITY AND FOCUS FILM DISTANCE (FFD) VARIATIONS IN PEDIS AP PROJECTION EXAMINATION

Mega Putri Ramandani ¹⁾, M. Sofyan ¹⁾

1 Politeknik Kesehatan TNI AU Adisutjipto Yogyakarta

ABSTRACT

Background: The Heel Effect is a significant phenomenon in radiology, occurring when the X-ray intensity varies between the anode and cathode sides of the X-ray tube. This phenomenon has a notable impact on the distribution of the X-ray beam and the quality of radiographic images, particularly in bone examinations such as Ossa Pedis. Therefore, understanding the Heel Effect is crucial for improving diagnostic accuracy.

Method: This study aims to analyze how the Heel Effect influences image density in the AP projection of Ossa Pedis. Additionally, it evaluates the impact of varying Focus Film Distances (FFD) on the distribution of X-ray intensity and the difference in Pixel Value (PV) between the anode and cathode sides.

Result: An experimental method was employed, capturing radiographic images of Ossa Pedis at FFDs of 90 cm, 100 cm, and 120 cm. The object was positioned so that the thicker part faced the cathode, and the thinner part faced the anode, maximizing the Heel Effect's influence in the analysis.

The results showed significant differences in Pixel Value (PV) between the anode and cathode sides, with higher X-ray intensity on the cathode side, consistent with the Heel Effect prediction. Moreover, as the FFD increased, the difference in PV between the two sides decreased, indicating that a larger FFD reduces the Heel Effect's impact on the image.

Conclusion: In conclusion, the Heel Effect affects image density in Ossa Pedis AP projection, with higher X-ray intensity on the cathode side. Varying FFD influences the PV difference, with larger FFD tending to reduce the Heel Effect, making appropriate FFD selection crucial in radiographic practice.

Keyword : Heel Effect, Ossa Pedis, FFD, Pixel Value

¹ Student From The D3 Radiology Study Program, Indonesian Air Force Health Polytechnic, Adisutjipto Yogyakarta

² lecturers in the D3 radiology study program, indonesian Air Force Health Polytechnic, Adisutjipto Yogyakarta

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGASAHAAN	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT	iii
KATA PENGANTAR	iv
INTISARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG	1
B. RUMUSAN MASALAH	4
C. TUJUAN PENELITIAN.....	4
D. MANFAAT PENELITIAN.....	5
E. KEASLIAN PENELITIAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Kajian Teori	5
B. Kerangka Teori.....	18
C. Kerangka Konsep.....	19
BAB III	20
METODE PENELITIAN.....	20
A. Jenis Penelitian.....	20
B. Tempat dan Waktu Penelitian	20
D. Definisi Operasional.....	20
E. Cara Pengumpulan Data.....	21
F. Metode Pengumpulan Data	22
G. Pengolahan dan Analisis Data	22
H. Etika Penelitian.....	23

BAB IV	25
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
A. Hasil Penelitian	25
B. Pembahasan.....	29
BAB V.....	33
KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
A. Kesimpulan	33
B. Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Anoda Heel Effect	7
Gambar 2. 2 Skema Tabung Sinar X.....	8
Gambar 2. 3 Anatomi Pedis.....	12
Gambar 2. 4 Posisi AP.....	13
Gambar 2. 5 Hasil Radiograf	14
Gambar 2. 6 Stepwedge.....	15
Gambar 2. 7 Kerangka Teori	18
Gambar 2. 8 Kerangka Konsep	19
 Gambar 4. 1 Hasil Citra Radiografi Tanpa Objek (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm	25
Gambar 4. 2 Daerah ROI Pengukuran Pedis	26
Gambar 4. 3 Hasil Radiograf Ossa Pedis Proksimal di Sisi Katoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm	27
Gambar 4. 4 Hasil Radiograf Ossa Pedis Proksimal di Sisi Anoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm	28

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Perbandingan PV variasi FFD Tanpa Objek.....	25
Tabel 4. 2 Perbandingan PV variasi FFD dengan Objek Pedis Proksimal di sisi Katoda	27
Tabel 4. 3 Perbandingan PV variasi FFD dengan Objek Pedis Proksimal di sisi Anoda	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Ijin Penelitian	
Lampiran 2 Tata cara penggunaan Software Image J	
Lampiran 3 Dokumentasi penelitian	
Lampiran 4 Hasil titik ROI Pedis di sisi Katoda.....	
Lampiran 5 tabel jadwal penelitian	

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Perkembangan teknologi tahun ini telah mengalami kemajuan yang signifikan, terutama dalam bidang kedokteran seperti radiologi. Radiologi memiliki peran penting dalam proses diagnosis penyakit dengan bantuan berbagai teknik dan prosedur pencitraan yang semakin kompleks. Salah satu modalitas pencitraan yang umum digunakan adalah sinar-X, di mana sinar-X digunakan untuk memvisualisasikan struktur tubuh seperti dada, abdomen, dan tulang. Sinar-X merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang dihasilkan dari pengeluaran energi oleh elektron-elektron yang bergerak dari katoda ke anoda (Patel, 2018).

Sinar-X terbentuk ketika proton ditembakkan dari katoda menuju anoda. Namun, atenuasi atau pelemahan gelombang elektromagnetik lebih besar di bagian anoda. Ini karena x-ray yang dipancarkan harus melewati dan diserap oleh bahan anoda sebelum keluar, menyebabkan sinyal atau gelombang melemah. Akibatnya, intensitas x-ray lebih tinggi di sisi katoda tabung dan lebih rendah di sisi anoda, fenomena ini dikenal sebagai *Heel Effect* (Faubert, 2017).

Heel Effect adalah fenomena karena adanya perbedaan intensitas sinar-X terhadap sudut kemiringan Anoda. *Heel Effect* juga dipengaruhi oleh jarak fokus film. *Heel Effect* akan lebih terlihat menonjol karena pengaruh jarak penyinaran yang pendek. Artinya semakin pendek jarak penyinaran

Heel Effect pada citra radiografi akan semakin terlihat jelas. Selain SID, hal penting lainnya yang harus diperhatikan seorang radiografer adalah pemilihan kVp yang tepat (Kenneth L. Bontrager, 2017). Menurut Elgstrom (2018), nilai piksel relatif terhadap input paparan x-ray yaitu kVp dan mAs. Input atau nilai dari kVp dapat mempengaruhi kualitas citra.

Teknik anoda *Heel Effect* umumnya diterapkan dalam bidang radiologi dengan memanfaatkan variasi posisi objek yang memiliki ketebalan yang berbeda. Distribusi sinar-X yang tidak merata disebabkan oleh penyerapan oleh permukaan anoda, sehingga intensitas sinar-X di sisi anoda akan mengalami penurunan dibandingkan dengan sisi katoda yang memiliki intensitas sinar-X yang lebih tinggi. Anoda *Heel Effect* juga memiliki dampak pada kualitas citra (Raihan, 2020). Oleh karena itu, penting untuk menempatkan objek sedemikian rupa saat penyinaran untuk memastikan intensitas sinar X merata. Biasanya, bagian objek yang paling tebal diletakkan menghadap katoda, sementara bagian yang paling tipis menghadap anoda (Fauber, 2016).

Penerapan Prinsip Efek Heel pada femur terlihat dalam perbedaan rata-rata nilai pixel antara bagian proximal dan distal pada dua radiograf yang berbeda. Pada radiograf pertama, perbedaan nilai pixel adalah 59, sementara pada radiograf kedua, perbedaannya mencapai 72,5 Setiarso (2019), sedangkan menurut penelitian Alvin Raihan (2020), dalam penelitiannya menggunakan phantom lumbal dan menunjukkan bahwa

terjadi penurunan nilai Pixel Value (PV) sebesar 15% saat meletakkan sisi tebal objek pada anoda. Studi lain yang dilakukan oleh Syafri (2021), menunjukkan terdapat pengaruh SID dalam terbentuknya fenomena *Heel Effect* dan terlihat pada saat penggunaan SID 90 cm. Penerapan *Heel Effect* dengan variasi Kv (46, 56, 66) dapat mempengaruhi kualitas citra radiografi dengan metode SNR yang mendapatkan nilai tertinggi pada Kv 46 dengan mAs 5.

Dalam penelitian ini dilakukan eksperimen pada *Ossa Pedis* dikarenakan *Ossa Pedis* memiliki tulang yang tidak sama ketebalannya yakni bagian tulang tarsal dengan mengambil gambar objek dengan ketebalan berbeda di kedua sisinya, sisi yang lebih tebal diletakkan sejajar dengan sisi katoda, sementara sisi yang lebih tipis diletakkan sejajar dengan sisi anoda. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut dalam Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS TEKNIK *HEEL EFFECT* TERHADAP DENSITAS DAN VARIASI *FOCUS FILM DISTANCE* (FFD) PADA PEMERIKSAAN *PEDIS* PROYEKSI AP”.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada di lapangan, maka penelitian ini akan memfokuskan untuk meneliti :

1. Bagaimana perbandingan Pixel Value (PV) Variasi FFD tanpa Objek?
2. Bagaimana perbandingan Pixel Value (PV) Variasi FFD dengan Objek *Pedis Proksimal* di sisi Katoda dan Proksimal di sisi Anoda?

C. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan rumusan masalah yang dikemukakan, penulisan ini memiliki tujuan untuk mengetahui untuk menganalisis pengaruh *Heel Effect* terhadap densitas citra radiografi pada pemeriksaan *Ossa Pedis* proyeksi AP. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis perbandingan *Pixel Value* (PV) pada berbagai variasi *Focus Film Distance* (FFD) tanpa objek dalam citra radiografi.
2. Menganalisis perbandingan Pixel Value (PV) pada berbagai variasi *Focus Film Distance* (FFD) dengan objek *Pedis Proksimal* di sisi katoda dan anoda.

D. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan ilmiah mengenai pengaruh *Heel Effect* dalam radiografi, khususnya dalam konteks pemeriksaan *Ossa Pedis*.

2. Bagi Rumah Sakit

Mengurangi kemungkinan pengulangan pemeriksaan radiografi akibat kualitas citra yang kurang memadai, sehingga meningkatkan efisiensi waktu dan sumber daya di rumah sakit.

3. Manfaat Praktik

Membantu dalam pengambilan keputusan klinis terkait dengan penyesuaian teknik pemeriksaan radiografi untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan konsisten

E. KEASLIAN PENELITIAN

NO	NAMA	TAHUN	JUDUL	HASIL	PERSAMAAN / PERBEDAAN
1.	LUJENG AGUS SETIARSO	2019	Pengaruh Anoda <i>Heel Effect</i> Terhadap Kualitas Radiograf Pada Pemeriksaan Radiografi Os Femur	Hasil penelitian menunjukkan pada radiograf pertama, perbedaan nilai pixel adalah 59, sementara pada radiograf kedua, perbedaannya mencapai 72,5.	Perbedaannya menggunakan os. Femur
2.	ALVIN RAIHAN	2020	Analisis Pengaruh Anoda <i>Heel Effect</i> Terhadap Kualitas Citra Radiografi Pada Computed Radiografi	Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh Anoda <i>Heel Effect</i> terhadap kualitas citra radiografi pada Computed Radiography, Penggunaan Anoda <i>Heel Effect</i> berpengaruh pada FFD yang pendek, Nilai PV dan Kontras radiografi tertinggi pada Stepwedge diperoleh ketika meletakkan sisi tebal objek pada sisi katoda dan FFD 90 C	Perbedaannya menggunakan phantom lumbal dan phantom femur dan menggunakan stepwedge
3.	SYAFRY KURNIAWAN	2021	Analisis Faktor Yang Mempengaruhi <i>Heel Effect</i> Pada Citra Computed Radiography Menggunakan Imagej	c Hasil penelitian menunjukkan terdapat pengaruh SID dalam terbentuknya fenomena <i>Heel Effect</i> dan terlihat pada saat penggunaan SID 90 cm. Penerapan <i>Heel Effect</i> dengan variasi Kv (46, 56, 66) dapat mempengaruhi kualitas citra radiografi dengan metode SNR yang mendapatkan nilai tertinggi pada Kv 46 dengan mAs 5.	Perbedaannya menggunakan objek homogen.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Sinar X

a. Pengertian Sinar X

Sinar X adalah jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki kemiripan dengan gelombang radio, panas, cahaya, dan sinar ultraviolet, namun memiliki panjang gelombang yang jauh lebih pendek. Berbeda dengan gelombang elektromagnetik lainnya, sinar X tidak terlihat dan bersifat heterogen. Karena panjang gelombang yang sangat pendek, yakni hanya sekitar $1/10.000$ dari panjang gelombang cahaya yang terlihat, sinar X memiliki kemampuan untuk menembus benda-benda (Rasad, 2015).

b. Proses Terjadinya Sinar X

Urutan proses terjadinya sinar x adalah sebagai berikut (Rasad, 2015).

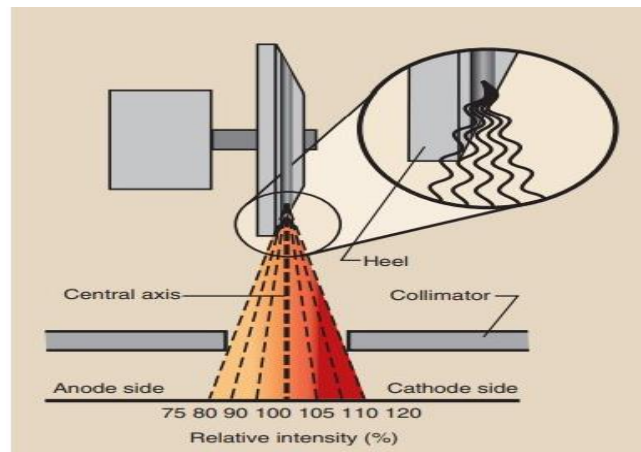
- 1) Katoda (filament) dipanaskan (lebih dari 20.000°C) sampai LIT menyala dengan mengalirkan listrik yang berasal dari transformator.
- 2) Karena panas, elektron - elektron dari katoda (filament) terlepas. Sewaktu dihubungkan dengan transformator

tegangan tinggi, elektron elektron akan dipercepat gerakannya menuju anoda dan dipusatkan ke focusing cup.

- 3) Filament dibuat relatif negatif terhadap sasaran (target) dengan memilih potensial tinggi. Awan awan elektron mendadak dihentikan pada sasaran (target) sehingga terbentuk panas (>99%) dan sinar-x (<1%).
- 4) Pelindung (perisai) timah akan mencegah keluarnya sinar-x dari tabung, sehingga sinar-x yang terbentuk hanya dapat keluar melalui jendela (kolimator). Panas yang tinggi pada target akibat benturan elektron ditiadakan oleh radiator pendingin.

2. *Heel Effect*

Heel Effect adalah istilah yang merujuk pada perbedaan intensitas radiasi sinar-X antara ujung Katoda dan Anoda pada tabung sinar-X. Fenomena ini disebabkan oleh penyerapan yang lebih besar pada sudut Anoda, sehingga sinar-X yang dipancarkan dari Anoda harus melewati jarak yang lebih panjang melalui bahan Anoda sebelum keluar dari tabung. Intensitas sinar-X lebih rendah sekitar 25% pada sisi Anoda dan lebih tinggi sekitar 20% pada sisi Katoda, menciptakan variasi total maksimum sekitar 45%. Namun, tidak ada variasi yang signifikan pada sumbu tegak lurus antara Katoda dan Anoda (Bushberg et al., 2022)



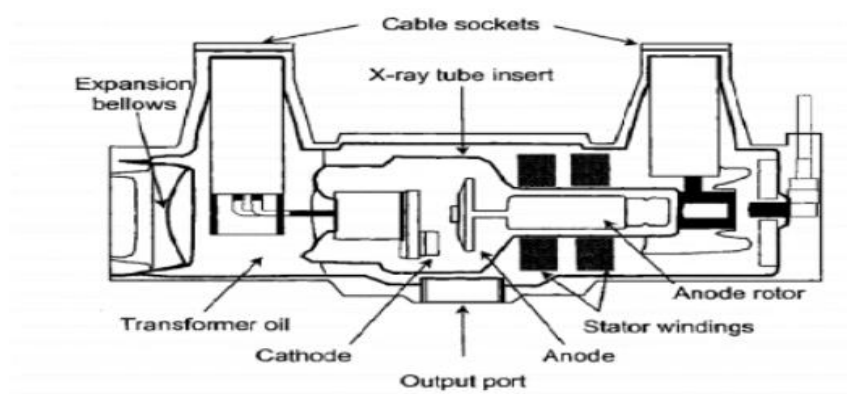
Gambar 2. 1 Anoda *Heel Effect*

(Bushong, 2017)

Heel Effect dimanfaatkan dalam radiografi untuk mengatasi perbedaan ketebalan objek dengan menempatkan sumber radiasi (Katoda) pada bagian yang lebih tebal dari objek. Fenomena ini, seperti yang dijelaskan oleh Bushong (2017), adalah penurunan intensitas sinar-X di sisi Anoda dan dipengaruhi oleh jarak fokus-ke-detektor (FFD), dengan dampaknya yang tidak signifikan pada FFD yang lebih panjang. *Heel Effect* lebih mencolok ketika FFD pendek dan ukuran lapangan penyinaran luas, menurut Kenneth L. Bontrager (2017). Sudut Anoda juga memengaruhi *Heel Effect*; semakin kecil sudut Anoda, semakin besar efeknya, sesuai dengan penelitian Bushong (2017). Manfaat dari variasi intensitas sinar-X yang disebabkan oleh *Heel Effect* dimanfaatkan pada objek dengan ketebalan yang berbeda, seperti tulang belakang, *pedis* dan *femur*, seperti yang dijelaskan oleh Mraity, England, & Hogg (2017).

3. Komponen Tabung Sinar X

Tabung sinar-X berperan sebagai tempat terjadinya pembuatan sinar-X Bremsstrahlung dan mekanisme radiasi karakteristik (Bushberg et al., 2022). Beberapa bagian kunci dalam proses pembuatan sinar-X meliputi :



Gambar 2. 2 Skema Tabung Sinar X
(Bushberg et al., 2022)

a. Anoda

Anoda merupakan bagian positif dari tabung sinar-X yang mengalirkan listrik, memancarkan panas, dan menghasilkan sinar-X. Terdapat dua jenis anoda: diam dan berputar. Untuk mencegah kerusakan akibat panas pada tabung sinar-X, laju produksi sinar-X harus dibatasi. Tungsten (Wolfram) adalah bahan anoda yang paling umum digunakan karena memiliki titik lebur yang tinggi (3370°C) dan nomor atom yang tinggi. Sudut anoda yang digunakan dalam radiologi diagnostik berkisar antara 7° hingga 20° , dengan $12-15^{\circ}$ sebagai yang paling umum digunakan (Bushberg et al., 2022).

b. Katoda

Sumber elektron dalam tabung sinar-X adalah katoda, yang terdiri dari filamen kawat tungsten yang berbentuk heliks dan dikelilingi oleh focusing cup. Filamen kawat terhubung ke sirkuit filamen yang memberikan tegangan sekitar 10 V ke filamen, menghasilkan arus hingga 7 A melalui filamen. Pemanasan listrik membebaskan elektron melalui proses yang disebut Thermionic Emission. Elektron kemudian dilepaskan dari filamen melalui tabung hampa saat tegangan positif diterapkan pada anoda (Bushberg et al., 2022).

Dalam penggunaannya, anoda terdiri dari dua jenis, yaitu anoda diam (stationary) dan anoda putar (rotating).

- 1) Anoda diam adalah tipe yang sederhana, terbuat dari plat tungsten yang tertanam dalam blok tembaga. Fungsinya adalah untuk menopang target tungsten dan menghilangkan panas secara efisien dari target tersebut. Namun, area target yang kecil membatasi tingkat pembuangan panas sehingga tabung arus maksimal dibatasi. Tabung sinar-X seperti pada pesawat dental, mobile sinar-X, dan pesawat fluoroscopy umumnya menggunakan anoda diam (Bushberg et al., 2022).
- 2) Anoda putar adalah tipe anoda yang berputar, memungkinkan elektron untuk berinteraksi dengan area target yang lebih luas. Hal ini menghasilkan pemanasan yang tidak terpusat pada satu

titik kecil seperti pada anoda diam. Area target pada anoda putar mencapai 1800 mm² dengan focal spot 1 mm², sehingga memberikan lebih banyak area untuk berinteraksi dengan berkas elektron. Kecepatan rotasi anoda dapat meningkatkan kapasitas panas, dengan kebanyakan tabung sinar-X berputar pada 3400 rpm, sementara yang berkapasitas tinggi berputar pada 10.000 (Bushong, 2017).

c. *Tube Housing*

Tube Housing merupakan bagian yang mendukung, mengisolasi, dan melindungi tabung sinar-X dari lingkungan. Di antara insert tube dan housing terdapat oli untuk mereduksi panas dan mengisolasi listrik. Tabung sinar-X radiografi umumnya dilengkapi dengan oli untuk meredam panas selama operasi. Jika oli memanaskan berlebihan, microswitch akan menonaktifkan tabung sinar-X sampai pendinginan cukup. Sedangkan tabung sinar-X yang digunakan pada pesawat fluoroscopy intervensi dan computed tomography (CT) memiliki penukar panas untuk operasi jangka panjang pada output yang tinggi (Bushberg et al., 2022).

d. Kolimator

Kolimator mengatur ukuran dan bentuk bidang sinar-X yang muncul dari port tabung. Kolimator ini terpasang pada tube housing dengan sendi putar. Dua pasang jendela yang berlawanan arah dapat diatur untuk menentukan bidang sinar-X persegi

panjang. Sebuah kolimator juga memantulkan sinar-X dengan cermin yang memiliki nilai atenuasi rendah, sehingga keluarnya sinar-X tetap sama (Bushberg et al., 2022).

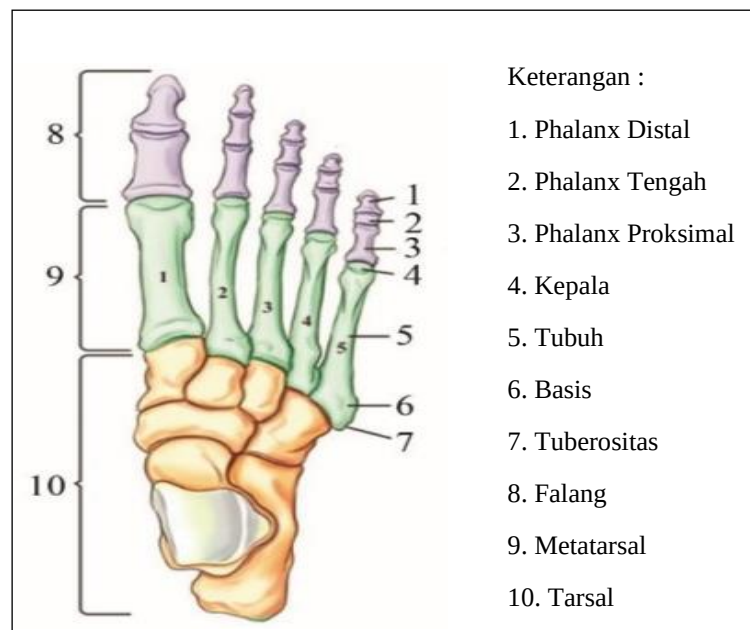
4. Anatomi *Ossa Pedis*

Pedis manusia merupakan bagian kaki yang terdiri dari 26 tulang, 33 sendi, serta otot, tendon, dan ligamen. Terbagi menjadi tiga bagian utama: hindfoot (talus dan calcaneus), midfoot (cuboid, navicular, dan tiga os cuneiform), dan forefoot (jari kaki dengan tiga phalanx kecuali hallux yang memiliki dua phalanx) (Bontrager & Lampignano, 2018).

Hindfoot terdiri dari dua tulang, yaitu talus dan calcaneus. Calcaneus merupakan tulang terkuat dan terbesar dalam tulang *Pedis*. Sendi subtalar menghubungkan calcaneus dengan talus, memungkinkan rotasi pada pergelangan kaki. Hindfoot berhubungan dengan midfoot melalui sendi transversal. Midfoot terdiri dari lima tulang tarsal: cuboid, navicular, dan tiga os cuneiform. Midfoot memiliki peran penting dalam membentuk lengkungan telapak kaki. Midfoot dan forefoot terhubung melalui lima sendi tarsometatarsal (Kiener et al., 2016).

Forefoot terdiri dari lima jari kaki, yang proksimalnya terhubung dengan lima tulang panjang yang membentuk metatarsal, dan bagian distal dari metatarsal tersebut bersendi dengan phalanx. Setiap jari kaki memiliki tiga phalanx, kecuali ibu jari atau hallux yang hanya memiliki dua phalanx. Setiap phalanx memiliki basis phalangeal di

ujung proksimal, corpus phalangis, dan caput phalangis di ujung distal. Phalanx hallux pertama memiliki sifat tulang yang pendek, lebar, dan kuat (Maas et al., 2016).



Gambar 2. 3 Anatomi *Pedis*
(Lampignano and Kendrick,2018)

5. Teknik Pemeriksaan *Ossa Pedis* Anteriorposterior (Lampignano and Kendrick, 2018)
 - a. Alat dan Bahan
 - 1) Pesawat sinar-X
 - 2) Image Reseptor (IR) 24 x 30 cm
 - 3) Marker
 - b. Persiapan Pasien

Pada pemeriksaan *Pedis* tidak ada persiapan khusus bagi pasien.

Hanya saja pasien diminta melepaskan alas kaki dan menggunakan apron yang telah disediakan

c. Posisi Pasien

Posisikan pasien duduk/supine diatas meja pemeriksaa.

d. Posisi Objek

Tekuk lutut pasien sehingga telapak kaki menempel pada kaset.

Kaset vertikal diatas meja pemeriksaan.

e. Arah Sinar

Arah sinar disudutkan 10 derajat

f. SID (Source Image Distance)

SID yang digunakan 100 cm

g. CP (Central Point)

Pada Metatarsal III

h. Marker R/L sesuai Objek

i. Pastikan pasien tidak bergerak saat waktu ekspose



Gambar 2. 4 Posisi AP

(Lampignano and Kendrick, 2018)



Gambar 2. 5 Hasil Radiograf
(Lampignano and Kendrick, 2018)

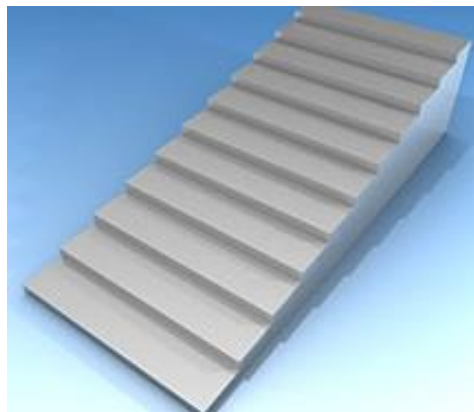
6. Pengukuran Anoda *Heel Effect*

Pengukuran *Heel Effect* secara langsung dilakukan dengan membandingkan langsung sesuatu yang akan diukur dengan standar yang dipakai sebagai alat ukurnya. Contohnya, menggunakan ionization chamber atau TLD (*Thermoluminescent doseimeters*) untuk mengukur radiasi secara langsung. Dalam pengukuran langsung, perlu memastikan penggunaan ionization chamber dilakukan di bawah sinar langsung atau dengan mengatur posisi chamber pada sisi yang sama, seperti pada sisi katoda, dengan jarak yang sama dari central ray (Wilson, K.L, 2014). Sementara itu, pengukuran *Heel Effect* secara tidak langsung dilakukan ketika nilai hasil ukuran tidak dapat diperoleh secara langsung. Salah satu metode pengukuran tidak langsung adalah dengan menggunakan film radiograf yang diekspos dan kemudian densitasnya diukur menggunakan densitometer. Dalam pengukuran ini, film diletakkan tegak lurus terhadap sumbu anoda-

katoda, dan step wedge sebaiknya diletakkan sepanjang sumbu tersebut untuk menghindari orientasi yang tidak tepat (Wilson, K.L, 2014).

7. Stepwedge

Dalam pengukuran koefisien atenuasi, sebuah objek uji yang digunakan memiliki bentuk yang disebut anak tangga atau sering disebut sebagai Stepwedge. Stepwedge ini bertujuan untuk mendapatkan ketebalan bahan yang berbeda-beda. Stepwedge biasanya terbuat dari bahan Aluminium (Al) dengan nomor atom 13. Ukuran fisik dari Stepwedge yang umumnya digunakan adalah 11 langkah (step) dengan masing-masing langkah memiliki ketebalan 3 mm dan lebar 15 mm (Louk dkk., 2014).



Gambar 2. 6 Stepwedge

(Sumber:(<http://www.gammex.com>. Diakses, Kamis 26 Maret 2024))

8. Densitas

Densitas radiografi sering kali disebut sebagai tingkat kehitaman film. Ini adalah parameter dalam radiografi yang mudah dinilai.

Densitas yang optimal adalah yang mampu memperlihatkan struktur anatomi dengan jelas oleh mata manusia. Manusia hanya dapat melihat densitas dalam rentang 0,25 hingga 2,5. Densitas radiografi mengacu pada tingkat kehitaman dari perak metal yang tersisa dalam emulsi film. Densitas ini menentukan seberapa baik bayangan terbentuk pada film dan memberikan petunjuk tentang seberapa banyak intensitas sinar-X yang telah menembus objek.

Densitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk tegangan, kuat arus, waktu, jarak fokus ke film (FFD), ukuran lapangan radiografi, dan ketebalan objek yang diimbas. Jika intensitas sinar-X besar, maka densitas akan tinggi (*high density*) dan film akan terlihat sangat hitam. Sebaliknya, jika intensitas sinar-X kecil, maka densitas akan rendah (*low density*), dan film akan tampak lebih terang. Densitas bisa diukur melalui dua pendekatan yaitu sebagai berikut (Chesney, 2020).

a. Transparasi

$$D = \log \frac{I_0}{I_t}$$

I_0 = cahaya awal

I_t = cahaya yang diteruskan

Transparansi dari gambar dapat diukur dengan mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui film (I_t) dan membandingkannya dengan intensitas cahaya yang jatuh pada

film (I_0). Dengan demikian, kita dapat menyatakan transparansi sebagai fraksi atau persentase dari intensitas cahaya yang berhasil melewati film dari total intensitas cahaya yang jatuh pada film tersebut. Rasio transmisi adalah perbandingan antara intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui film (I_t) dan intensitas cahaya yang mengenai film (I_0). Dengan kata lain, rasio ini merupakan ukuran seberapa banyak cahaya yang berhasil melewati film dibandingkan dengan jumlah cahaya yang jatuh pada film.

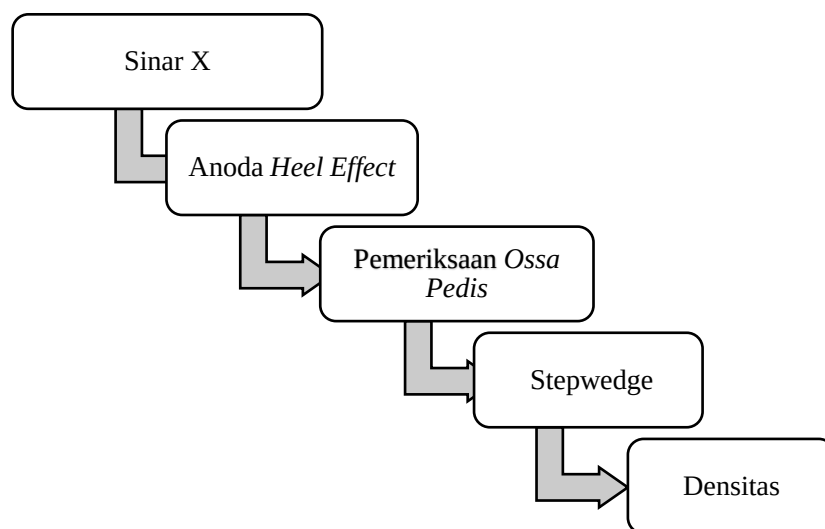
b. Opasitas

Opasitas dalam gambaran radiografi dapat diukur dengan menggunakan rasio transmisi. Nilai rasio transmisi cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kehitaman dan eksposur radiografi. Dalam gambaran radiografi, nilai densitas bisa bervariasi mulai dari 0,2 pada area yang transparan hingga mencapai 3,5 atau 4 pada area yang paling gelap. Daerah abu-abu, yang merupakan area yang paling sering diamati, memiliki densitas yang mendekati 1. Sebagai informasi tambahan, nilai densitas tidak dapat turun sampai 0 karena adanya fog dasar pada setiap film.

Fog dasar ini menyebabkan terbentuknya densitas meskipun film belum diekspos. Sementara itu, nilai densitas tertinggi yang dapat dicapai oleh sebuah film adalah 4 dalam

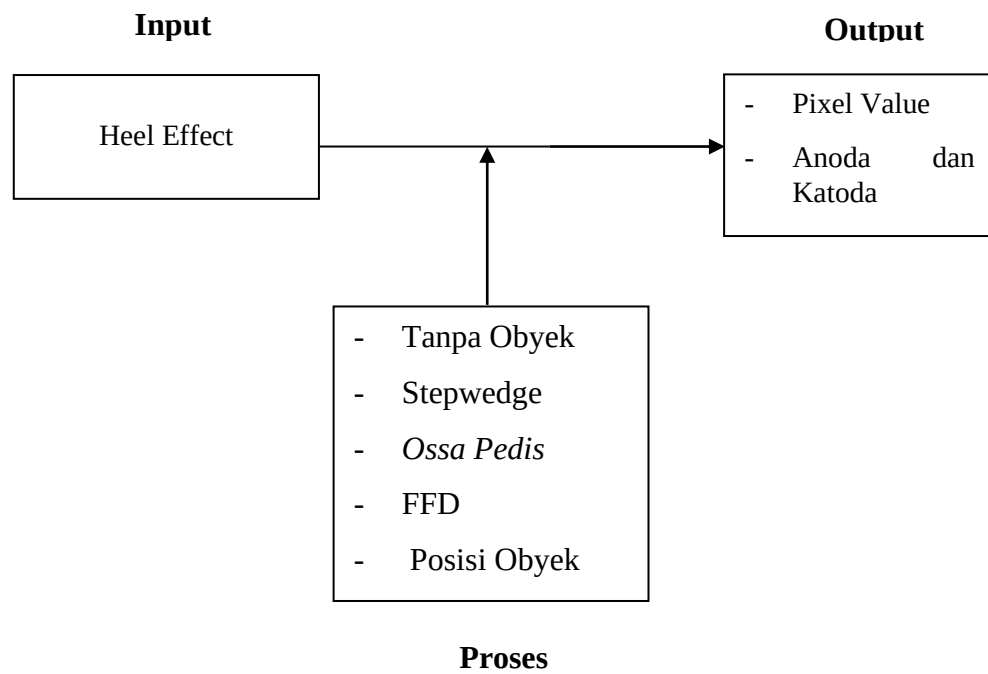
kondisi kehitaman sempurna, meskipun dalam praktiknya jarang sekali film radiografi mencapai densitas sebesar itu. Nilai densitas yang penting dalam membentuk gambaran pada film dan bisa dilihat oleh mata manusia disebut sebagai "useful density". Rentang nilai useful density biasanya berkisar antara 0,25 hingga 2. Pada kurva karakteristik, nilai useful density berada pada bagian linear atau lurus dari kurva tersebut (Chesney, 2020).

B. Kerangka Teori



Gambar 2. 7 Kerangka Teori

C. Kerangka Konsep



Gambar 2. 8 Kerangka Konsep

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Penelitian kuantitatif yaitu untuk menganalisis dan menghitung nilai piksel. Kemudian pendekatan eksperimental untuk mengetahui pengaruh *Heel Effect*.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Radiologi Poltekkes TNI AU Adisutjipto Yogyakarta pada tanggal 14 Juni 2024.

C. Sampel

Sampel penelitian ini menggunakan 3 radiograf tanpa Objek, 6 radiograf *Stepwedge* dan 6 radiograf *Ossa Pedis*.

D. Definisi Operasional

Tabel Definisi Operasional

Variabel	Definisi	Cara Ukur	Alat Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
Heel Effect	Pelemahan intensitas sinar X yang mengalami absorpsi pada anoda.	Observasi	Lembar kerja dan ATK	Pixel Value	Rasio
Kualitas Citra Radiografi (FFD 90 cm, 100 cm, 120 cm)	Nilai objektif dari citra radiografi pada variasi Focus Film Distance (FFD).	Eksperimen	Software ImageJ, DR System	Pixel Value	Rasio
Kualitas Citra Radiografi Stepwedge	Nilai objektif dari citra radiografi pada Stepwedge.	Eksperimen	Software ImageJ, DR	Pixel Value	Rasio

			System		
Kualitas Citra Radiografi Ossa Pedis AP	Nilai objektif dari citra radiografi pada Ossa Pedis AP.	Eksperimen	Software ImageJ, DR System	Pixel Value	Rasio
Kualitas Citra Radiografi Tanpa Obyek	Nilai objektif dari citra radiografi tanpa objek.	Eksperimen	Software ImageJ, DR System	Pixel Value	Rasio

E. Cara Pengumpulan Data

1. Pengujian Tanpa Objek

Hal pertama yang dilakukan untuk memastikan terjadinya *Heel Effect* pada citra hasil dari DR adalah dengan melakukan pengujian ekspose *x-ray* tanpa objek pada imaging plate. Pengujian dilakukan pada imaging plate dengan ukuran 35 x 43 cm dengan menggunakan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm dan faktor eksposi 60 kV dan 8 mAs.

2. Pengujian Pada Objek *Ossa Pedis*

Pengujian pada objek *Ossa Pedis* menggunakan faktor eksposi 55 kV dan 6 mAs. Lalu meletakkan sisi tebal objek pada sisi Katoda dengan menggunakan variasi 90 cm, 100 cm, dan 120 cm. Eksposi selanjutnya dengan faktor eksposi dan variasi FFD yang sama namun dengan meletakkan sisi objek pada sisi Anoda.

F. Metode Pengumpulan Data

Dalam menunjang Tugas Akhir ini, penulis membutuhkan data-data yang dikumpulkan dengan menggunakan berbagai sumber, antara lain :

1. Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan melakukan percobaan atau eksperimen yaitu menganalisa langsung *Heel Effect*.

2. Studi Kepustakaan

Mencari dan mengumpulkan sumber-sumber (referensi kepustakaan) baik melalui buku-buku dan sumber lain seperti internet dan tulisan ilmiah yang menunjang materi pembuatan Tugas Akhir ini.

3. Pengukuran

Pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran yaitu mengukur Pixel Value (PV).

G. Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan data penelitian dalam karya tulis ini dimulai dengan mengumpulkan data dan kemudian diolah, menghasilkan suatu kesimpulan untuk menjawab tujuan penulisan Tugas Akhir. Kemudian data yang diperoleh yaitu semua hasil citra radiograf disimpan dalam sebuah *Compact Disk* (CD). Data yang didapat kemudian dihitung secara kuantitatif dengan mengukur perbedaan dari nilai kualitas citra menggunakan *Software ImageJ* dan *DR system* dengan mengukur nilai masing-masing parameter kualitas citra diatas. Kemudian data yang diperoleh diambil nilai tertinggi dari tiap

masing-masing nilai parameter kualitas citra, berapa persen pengaruh densitas dengan *Heel Effect* pada pemeriksaan *Ossa Pedis*.

H. Etika Penelitian

Peneliti dalam melakukan penelitian tidak akan berhasil tanpa bantuan orang lain. Di perlukan responden yang akan menyisihkan waktunya untuk terlibat dalam penelitian, diperlukan timbal balik peneliti kepada responden. Respon dari responden yang secara sukarela memberikan informasi penelitian perlu dihargai atas informasi, kesediaan dan kejujurannya dan hal inilah yang disebut kode etik penelitian (Kemenkes, 2017). Dalam melakukan penelitian ini harus melakukan proses perijinan kepada rumah sakit sebagai tempat yang akan dilakukan penelitian. Etika penelitian meliputi :

1. Informed consent

Dimana peneliti menjelaskan maksud, tujuan, manfaat penelitian dan menjelaskan bahwa keikutsertaan dalam penelitian ini bersifat sukarela, kemudian peneliti menyerahkan lembar persetujuan sebagai responden, lalu responden membaca lembar persetujuan dan menandatangani lembar persetujuan sebagai bukti kesediaannya jawab sebagai responden.

2. Anonymity (tanpa nama)

Untuk menjaga kerahasiaan, peneliti tidak mencantumkan nama responden pada lembar pengumpulan data.

3. Confidentialy (kerahasiaan)

Kerahasiaan informasi yang diberikan oleh responden dijamin oleh peneliti, bahwa informasi tersebut hanya boleh diketahui peneliti dan pembimbing serta hanya kelompok data tertentu yang akan disajikan atau dilaporkan sebagai hasil penelitian. Selanjutnya, lembar pengumpulan data dimusnahkan oleh peneliti dengan cara membakar setelah jangka waktu dua tahun.

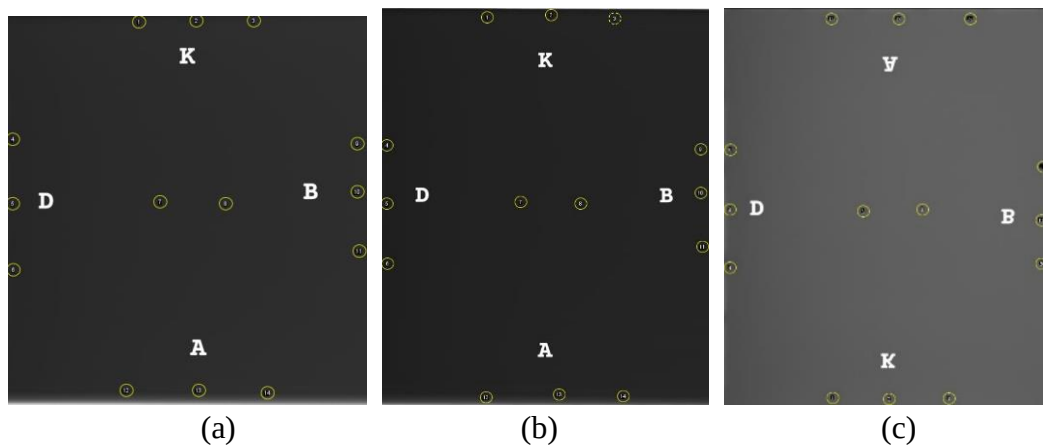
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Perbandingan PV Tanpa Objek

Pengujian *Heel Effect* Tanpa Objek dilakukan dengan menggunakan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm dan faktor eksposi 60 kV dan 8 mAs.



Gambar 4. 1 Hasil Citra Radiografi Tanpa Objek (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm

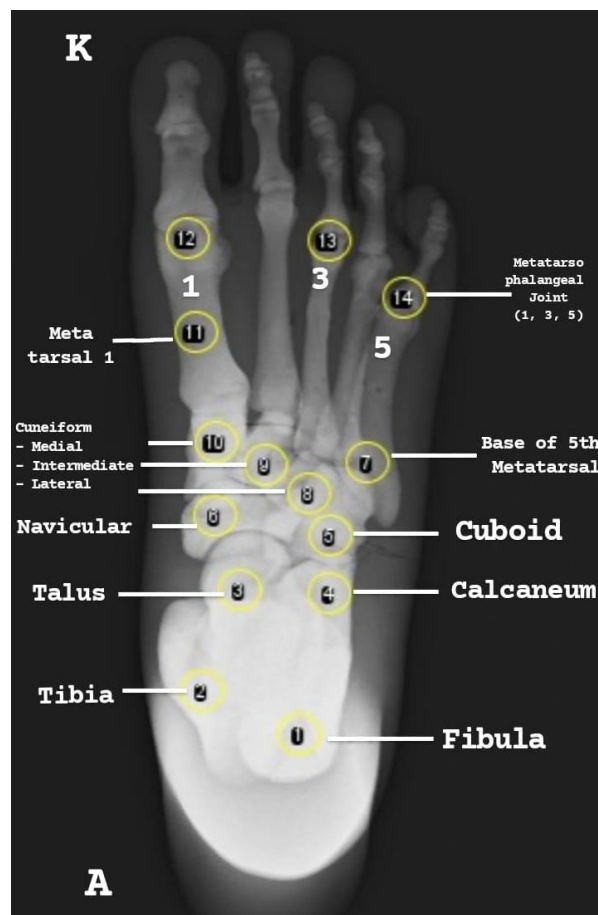
Tabel 4. 1 Hasil Perbandingan PV variasi FFD Tanpa Objek

Rata-Rata Titik ROI	FFD 90 cm	FFD 100 cm	FFD 120 cm
Sisi Katoda (1,2,3)	3581,333	3453,111	2792,556
Sisi Tengah (4,5,6,7,8,9,10,11)	3577,333	3446,333	2769
Sisi Anoda (12,13,14)	3331,222	3312,667	2531,556

Pada tabel 4.1 hasil PV tertinggi adalah 3.581,333 diperoleh pada sisi Katoda dengan FFD 90 cm dan nilai terendah adalah 2.531,556 pada sisi Anoda dengan FFD 120 cm.

2. Perbandingan *Ossa Pedis*

Pengujian *Heel Effect* dengan menggunakan Objek phantom *Ossa Pedis* dilakukan dengan faktor eksposi 55 kV dan 6 mAs dan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm. Kemudian di ekspos sebanyak 6 kali dengan variasi arah Anoda dan arah Katoda.

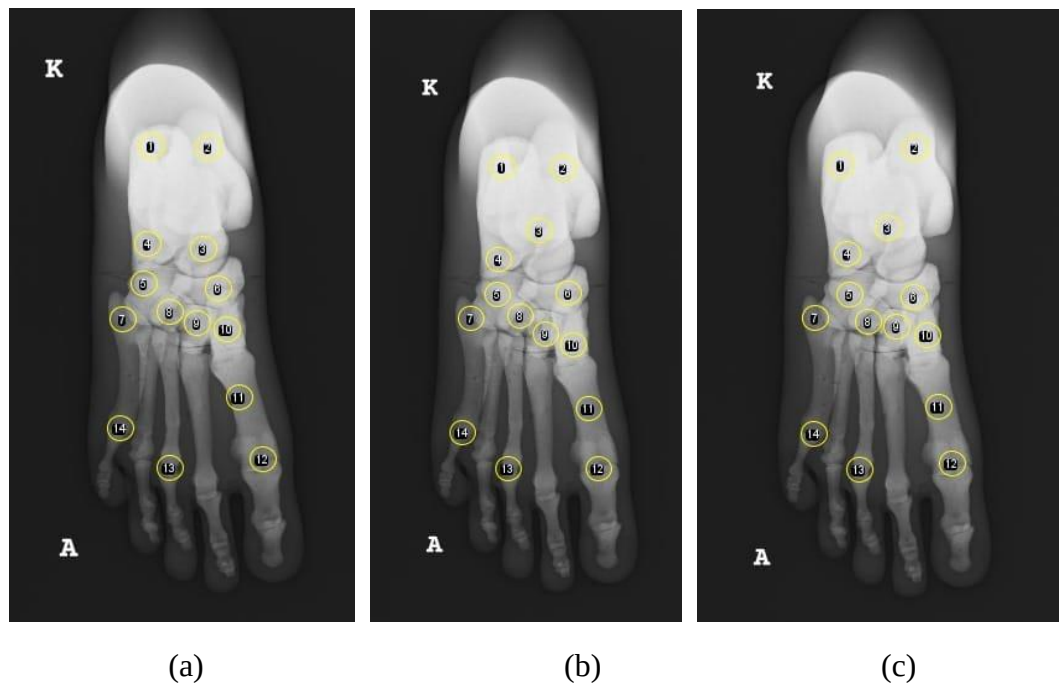


Gambar 4. 2 Daerah ROI Pengukuran *Pedis*

Pada gambar 4.2 daerah ROI yang digunakan ada 14 titik. Ada 4 titik di bagian proksimal, ada 6 titik di bagian medial dan ada 4 titik di bagian distal.

a. Perbandingan PV Objek Ossa Pedis Proksimal di sisi Katoda dengan Variasi FFD

Perbandingan radiograf *Ossa Pedis* Proksimal di sisi Katoda dilakukan dengan faktor eksposi 55 kV dan 6 mAs dan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm. Bisa dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Hasil Radiograf *Ossa Pedis* Proksimal di Sisi Katoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm

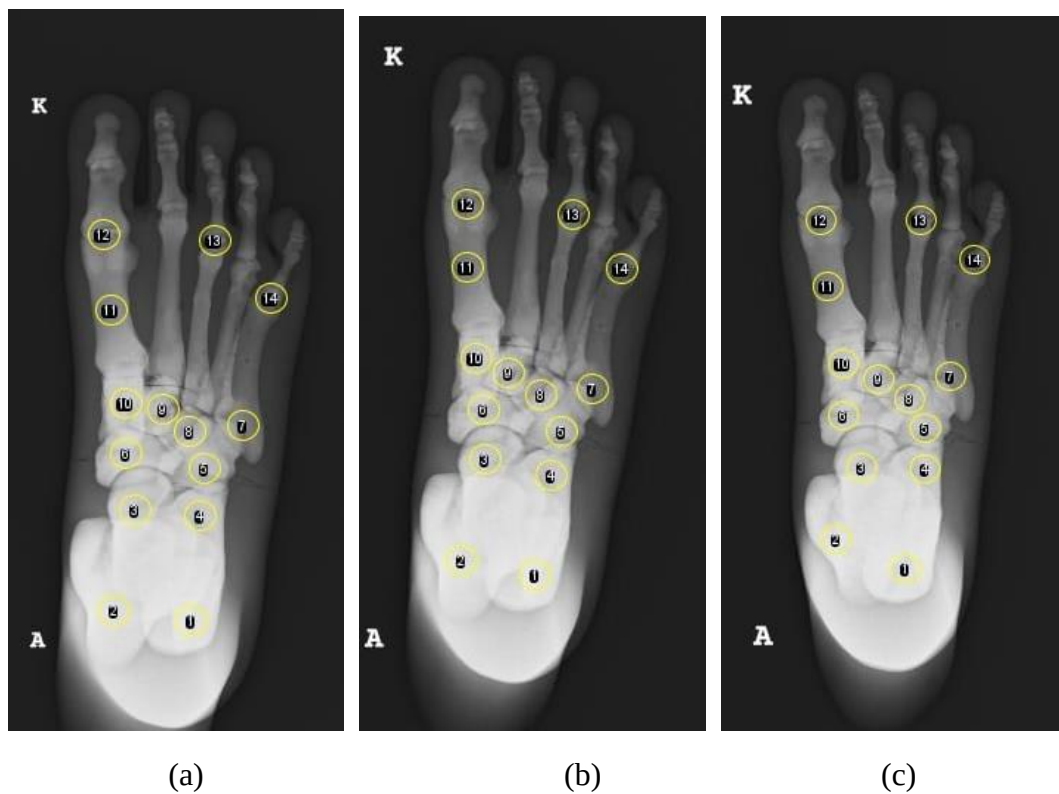
Tabel 4. 2 Perbandingan PV variasi FFD dengan Objek *Pedis* Proksimal di sisi Katoda

Rata-Rata Titik ROI	FFD 90 cm	FFD 100 cm	FFD 120 cm
Sisi Proksimal (1,2,3,4)	736,25	628,75	619
Sisi Medial (5,6,7,8,9,10)	1428,667	1312,5	1320,833
Sisi Distal (11,12,13,14)	2441	2401,75	2320,25

Hasil perbandingan daerah ROI sisi Proksimal memperoleh nilai tertinggi 736,25 pada FFD 90 cm dan nilai terendah 619 pada FFD 120 cm. Di sisi Medial nilai tertinggi 1.428,667 pada FFD 90 cm dan nilai terendah .321,5 pada FFD 100 cm. Dan di sisi Distal nilai tertinggi 2.441 pada FFD 90 cm dan nilai terendah 2.320,25 pada FFD 120 cm.

b. Perbandingan PV Objek Ossa Pedis Proksimal di sisi Anoda dengan Variasi FFD

Perbandingan radiograf *Ossa Pedis* Proksimal di sisi Anoda dilakukan dengan faktor eksposi 55 kV dan 6 mAs dan variasi FFD 90 cm, 100 cm, dan 120 cm. Bisa dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil Radiograf *Ossa Pedis* Proksimal di Sisi Anoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm

Tabel 4. 3 Perbandingan PV variasi FFD dengan Objek *Pedis* Proksimal di sisi Anoda

Rata-Rata Titik ROI	FFD 90 cm	FFD 100 cm	FFD 120 cm
Sisi Proksimal (1,2,3,4)	648,75	665,5	615
Sisi Medial (5,6,7,8,9,10)	1256,833	1247,167	1175,5
Sisi Distal (11,12,13,14)	2325,25	2397	2344,75

Hasil perbandingan daerah ROI sisi Proksimal memperoleh nilai tertinggi 665,5 pada FFD 100 cm dan nilai terendah 615 pada FFD 120 cm. Di sisi Medial nilai tertinggi 1.256,833 pada FFD 90 cm dan nilai terendah 1.175,5 pada FFD 120 cm. Dan di sisi Distal nilai tertinggi 2.397 pada FFD 100 cm dan nilai terendah 2325,25 pada FFD 90 cm.

B. Pembahasan

1. Perbandingan Tanpa Objek dengan Variasi FFD

Berdasarkan hasil perbandingan pada pengukuran PV sinar-X, terlihat bahwa nilai PV tertinggi 3.581,333 terjadi pada sisi Katoda dengan FFD 90 cm dan nilai terendah 2.531,556 terjadi pada sisi Anoda dengan FFD 120 cm. Fenomena ini menunjukkan bahwa titik ROI di sisi Katoda menghasilkan nilai PV yang lebih tinggi dibandingkan dengan titik ROI di sisi Anoda dan Tengah. Penurunan nilai PV pada FFD yang lebih besar, yaitu 100 cm dan 120 cm, mengindikasikan adanya fenomena Heel Effect, di mana intensitas sinar-X di sisi Katoda lebih tinggi dibandingkan di sisi

Anoda akibat sudut proyeksi sinar-X yang lebih cenderung terfokus pada sisi Katoda. Fenomena ini sesuai dengan prinsip dasar *Heel Effect*, yang disebabkan oleh distribusi energi sinar-X yang tidak merata di seluruh area detektor.

Menurut Alvin Raihan (2020), dalam penelitiannya pengaruh Anoda *Heel Effect* dapat terlihat ketika dilakukan pengujian pada Non-Objek. Hasil titik ROI pada daerah sisi Katoda memiliki nilai PV yang lebih tinggi dibanding titik ROI pada sisi Anoda. Menurut Syafri (2021), menunjukkan terdapat pengaruh SID dalam terbentuknya fenomena *Heel Effect* dan terlihat pada saat penggunaan SID 90 cm.

Menurut peneliti penggunaan *Heel Effect* sangat penting untuk memastikan akurasi dan konsistensi hasil pencitraan sinar-X. Dengan mengetahui bahwa sisi Katoda menghasilkan sinar-X yang lebih intens, teknisi dapat menyesuaikan posisi pasien atau orientasi film untuk memaksimalkan kualitas gambar dan mengurangi artefak yang disebabkan oleh variasi intensitas sinar-X. Oleh karena itu, pemilihan FFD yang tepat dan pengaturan peralatan harus dilakukan dengan memperhatikan distribusi sinar-X dan fenomena *Heel Effect* agar hasil diagnostik dapat dioptimalkan dengan baik.

2. Perbandingan Objek *Ossa Pedis* dengan Variasi FFD

Penelitian mengenai pemeriksaan radiografi *Ossa Pedis* dengan proyeksi AP menunjukkan pentingnya memahami dan memanfaatkan fenomena Anoda *Heel Effect*. Dalam penelitian ini, titik ROI yang

dijadikan tolak ukur meliputi Fibula, Tibia, Talus, Calcaneum, dan Cuboid, yang semuanya merupakan bagian dari Tulang Tarsal. Hasil perbandingan daerah ROI Proksimal sisi Katoda memperoleh nilai tertinggi 736,25 pada FFD 90 cm dan nilai terendah 619 pada FFD 120 cm. Di sisi daerah ROI Proksimal sisi Atoda memperoleh nilai tertinggi 665,5 pada FFD 100 cm dan nilai terendah 615 pada FFD 120 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan intensitas sinar-X antara sisi Katoda dan Anoda mempengaruhi kualitas gambar radiografi secara signifikan.

Menurut Kenneth L. Bontrager (2017), Heel Effect menjadi lebih jelas pada jarak fokus film (FFD) yang lebih pendek. Ini karena pada jarak penyinaran yang pendek, perbedaan intensitas antara sisi Katoda dan Anoda menjadi lebih mencolok. Menurut Alvin Raihan (2020), dalam penelitiannya menggunakan phantom lumbal dan menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai Pixel Value (PV) sebesar 15% saat meletakkan sisi tebal objek pada anoda. Nilai PV dan kontras radiografi tertinggi pada *Phantom Lumbal* diperoleh ketika meletakkan sisi tebal objek pada sisi katoda dan FFD 90 cm. Sedangkan pada *Phantom Femur* tidak memiliki perubahan yang signifikan, karena kondisi *Phantom* yang memiliki ketebalan hampir sama disetiap sisinya baik sisi proksimal dan distal.

Menurut peneliti untuk mencapai hasil citra yang optimal, penting bagi radiografer untuk mempertimbangkan efek ini saat melakukan pemeriksaan Ossa Pedis. Oleh karena itu, pada pemeriksaan Ossa Pedis

dengan perbedaan ketebalan yang signifikan, seperti yang terjadi antara bagian proksimal dan distal dari kaki, memanfaatkan fenomena ini sangatlah penting. Penelitian ini menggarisbawahi bahwa dengan menempatkan bagian proksimal dari Ossa Pedis di sisi Katoda dan bagian distal di sisi Anoda, serta menggunakan FFD yang lebih pendek, hasil radiograf yang lebih tajam dan kontras dapat diperoleh. Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip ini, radiografer dapat meningkatkan akurasi diagnosis dan kualitas gambar, serta meminimalkan potensi artefak yang mungkin mempengaruhi interpretasi klinis.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.

1. Penelitian menunjukkan bahwa nilai PV tertinggi terletak di sisi Katoda pada FFD 90 cm dengan nilai tertinggi 3.581,333 dan nilai terendah 2.531,556, mengonfirmasi adanya fenomena *Heel Effect*. Dengan meningkatnya FFD, nilai PV menurun, menegaskan bahwa intensitas sinar-X tidak merata akibat *Heel Effect*.
2. Pemeriksaan Ossa Pedis, hasil PV dengan menempatkan bagian sisi proksimal di Katoda lebih tinggi dengan nilai 736,25 dibandingkan sisi proksimal di Anoda dengan nilai 648,75 dengan FFD 90 cm yang dapat meningkatkan kualitas gambar radiografi. Ini memanfaatkan *Heel Effect* untuk memperjelas struktur tulang dengan ketebalan berbeda.

B. Saran

1. Sebaiknya Radiografer harus mengatur posisi objek sehingga bagian proksimal Ossa Pedis berada di sisi Katoda dan bagian distal di sisi Anoda, serta menggunakan FFD yang lebih pendek untuk hasil gambar yang lebih baik.
2. Sebaiknya diberikan pelatihan tambahan kepada teknisi radiografi tentang cara memanfaatkan *Heel Effect* dalam berbagai pemeriksaan, termasuk perbedaan antara pemeriksaan tanpa objek dan Ossa Pedis, guna meningkatkan kualitas gambar dan akurasi diagnosis.

DAFTAR PUSTAKA

- Bushberg, J.T., Boone, J.M., & Leidholdt Jr, E.M. (2022). The Essential Physics of Medical Imaging (4rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins Ball John, Chesney's radiographic Imaging, London
- Bushong Stewart Carlyle. 2017. Radiologic Science for Technologist. Eleventh Edition. Elsevier, Inc St. Louis
- Chesney, M.A. (2020). Recent Advances in X-ray Imaging: Understanding the Influence of Voltage, Current, Exposure Time, FFD, Field Size, and Object Thickness on Density. Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences, 51(4), 321-335.
- Lampignano, P. John. Leslie E. Kendrick. 2018. Bontranger's Textbook of Radiographic Positioning and Related Anatomy. Missouri : Elsevier Lokananta, I., &, R. 2017. Malformasi Anirektal. Jurnal Kedokteran Meditek, 22 (58)
- Long, Bruce W., Jeannean Hall Rollins, dan Barbara J. Smith. 2016. Merrill's Atlas of Radiographic Position & Procedures, 13Th ed. Amerika: Elsevier.
- Mraity HAAB, Walton L, England A, Thompson J, Lanca L, Hogg P. Can the anode *Heel Effect* be used to optimise radiation dose and image quality for AP pelvis radiography? Radiography (Lond). 2020 May;26(2):e103-e108. doi: 10.1016/j.radi.2019.11.094. Epub 2019 Dec 23. PMID: 32052763
- Patel, Pradip R. 2018. Lecture Notes Radiologi Edisi ketiga Wiley-Blackwell
- Raihan, A. Analisis Pengaruh Anoda *Heel Effect* Terhadap Kualitas Citra Radiografi Pada Computed Radiografi. 2020
- Rasad, S. (2015). Radiologi diagnostik (Edisi 2). Jakarta : FK UI
- Wilson, K.L., & Davis, M.A. (2014). Advances in Ionization Chamber Technology for Radiation Measurement. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 756, 76-88.

Lampiran 1 surat ijin penelitian



**YAYASAN ADI UPAYA (YASAU)
POLITEKNIK KESEHATAN TNI AU ADISUTJIPTO
YOGYAKARTA**

Jalan Majapahit (Janti) Blok-R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Website : poltekkesadisutjipto.ac.id, Email : admin@poltekkesadisutjipto.ac.id
Tlp/Fax (0274) 4352698



SURAT IJIN PENGGUNAAN LABORATORIUM

Nomor : SIPL/ 07 / VI/2024/LT

1. Yang bertanda tangan di bawah ini:
 - a. Nama : dr. MINTORO SUMEGO, MS
 - b. Jabatan : Direktur Poltekkes TNI AU Adisutjipto
2. Menerangkan bahwa:
 - a. Nama : Mega Putri Ramandani
 - b. NIM : 21230014
 - b. Prodi : D3 Radiologi
 - c. Perguruan Tinggi : Poltekkes TNI AU Adisutjipto
 - a. Berdasarkan Surat Permohonan Peminjaman Ruang dan Alat Laboratorium atas nama Mega Putri Ramandani NIM 21230014, tanggal 14 Juni 2024, yang bersangkutan diijinkan melakukan penelitian menggunakan Laboratorium Poltekkes TNI AU Adisutjipto mulai tanggal 14 Juni 2024.
 - b. Biaya penggunaan dan pemeliharaan alat laboratorium sebesar Rp. 200.000,- per bulan dibayarkan melalui rekening **Yayasan Adi Upaya BPH Poltekkes Adisutjipto No Rek. BNI 0762408070**, paling lambat tiga hari setelah Surat Ijin ini dikeluarkan. Penggunaan laboratorium lebih dari satu bulan, dikenakan biaya tambahan sebesar **Rp.100.000,-** per bulan
 - c. Apabila ada kerusakan dan kehilangan terhadap alat tersebut diwajibkan untuk memperbaiki atau mengganti.
3. Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

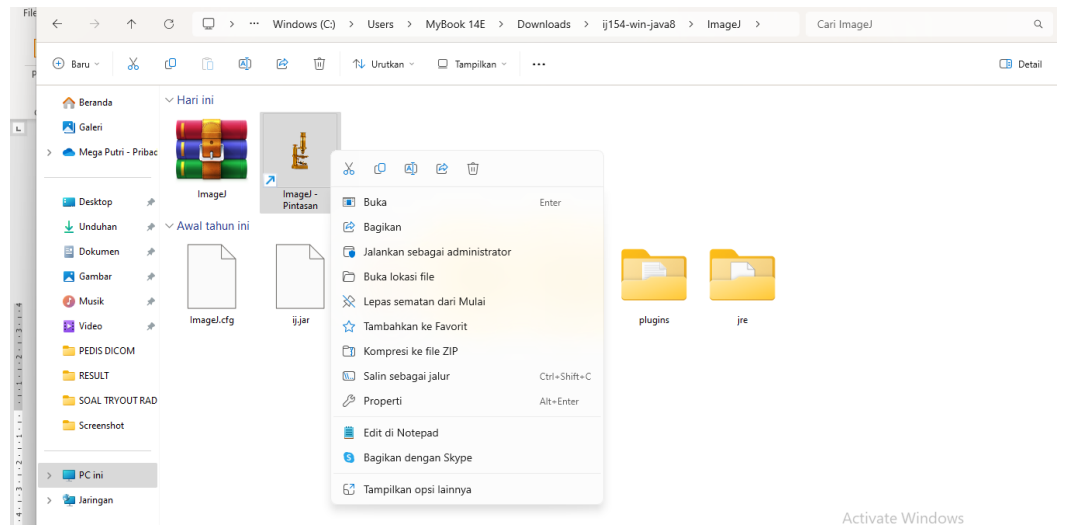
Yogyakarta, Juni 2024

Direktur

DIREKTUR
dr. MINTORO SUMEGO, MS
NIP. 012205001

Lampiran 2 Tata cara penggunaan software image J

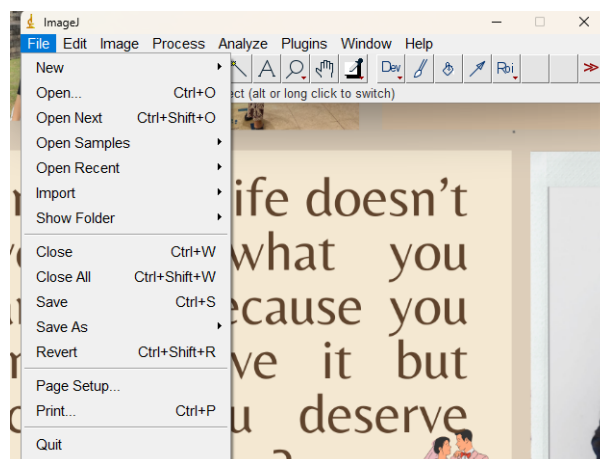
1. Buka Software ImageJ



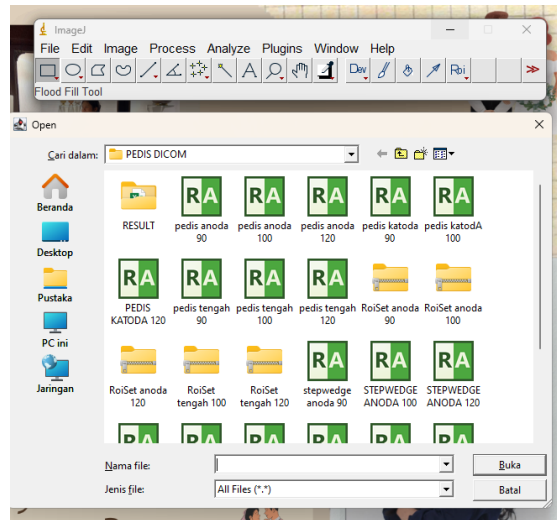
2. Tampilan perangkat software ImageJ muncul seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



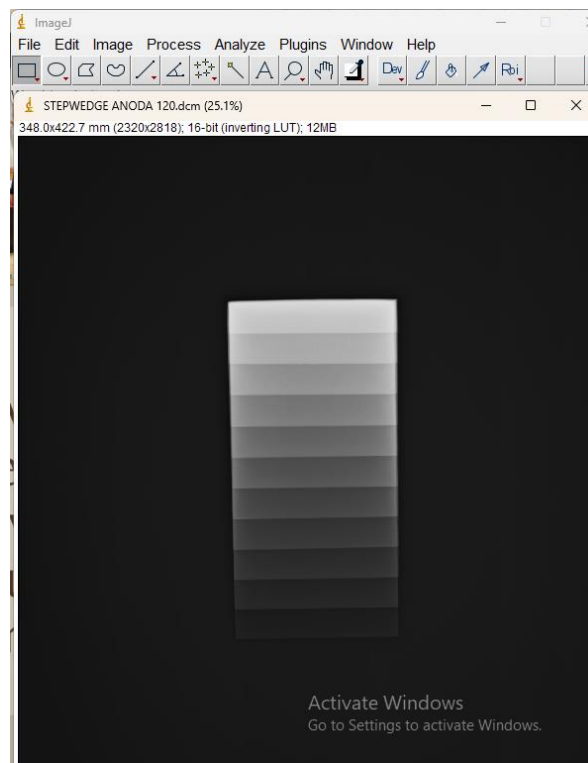
3. Buka menu File di taskbar dan pilih Open untuk membuka file yang ingin Anda analisis.



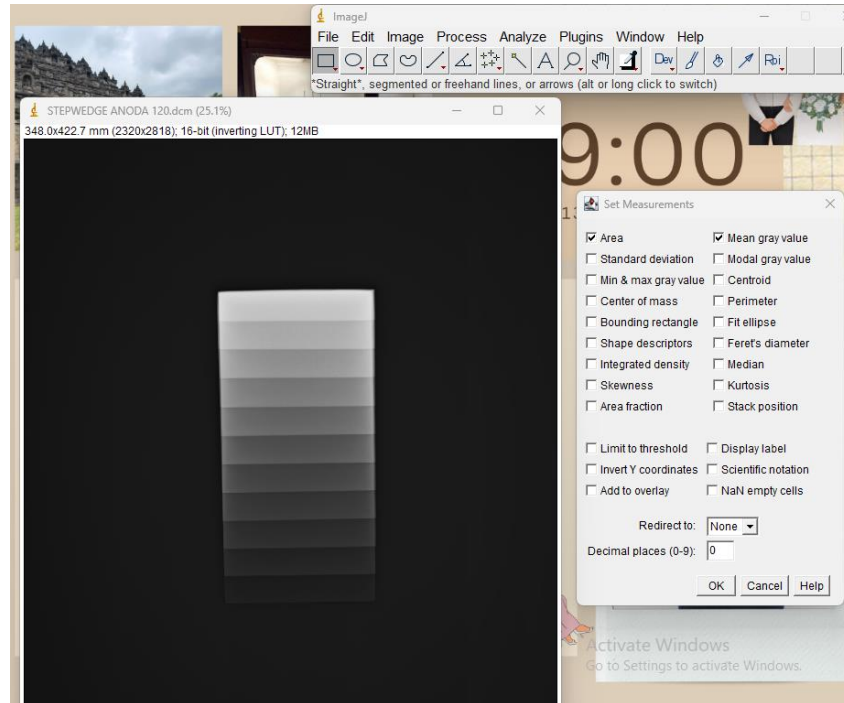
4. Pilih file gambar dalam format DICOM yang akan dianalisis.



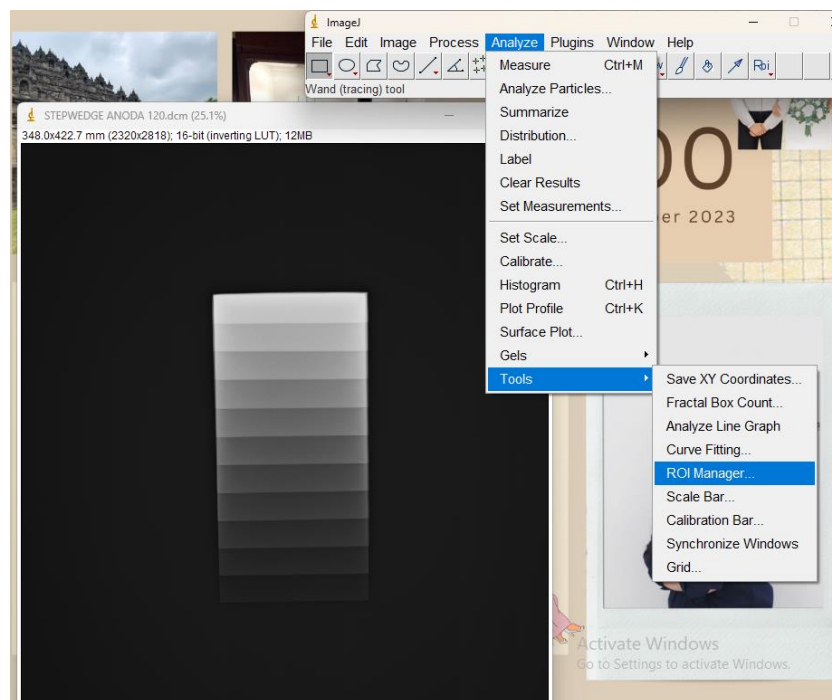
5. Gambar yang dipilih akan ditampilkan seperti ini.



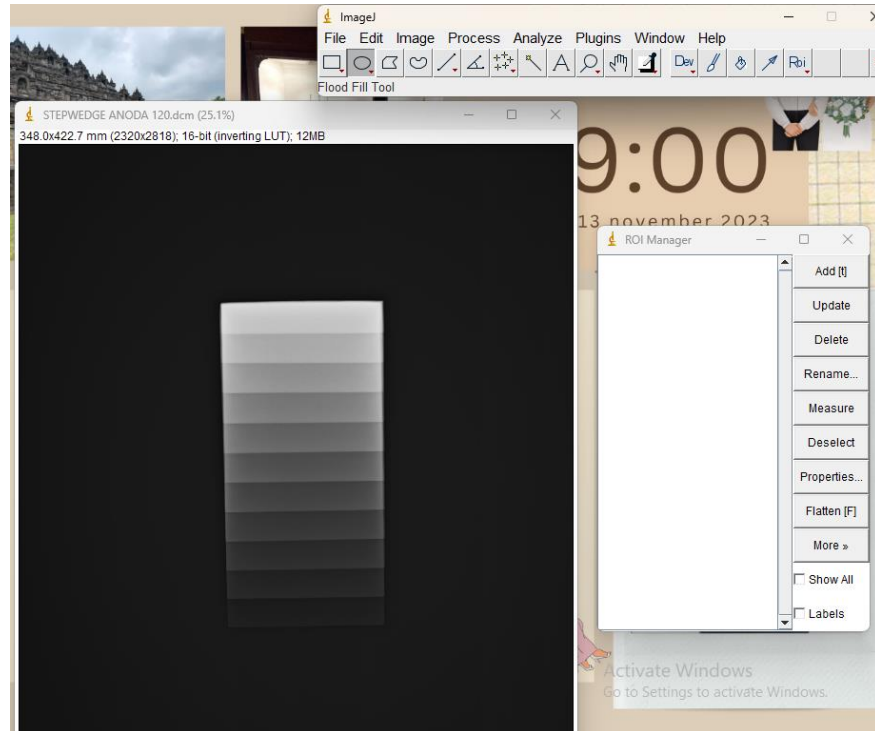
6. Buka menu "Analyze" di taskbar, kemudian pilih "Set Measurement" untuk memilih parameter yang ingin diukur.



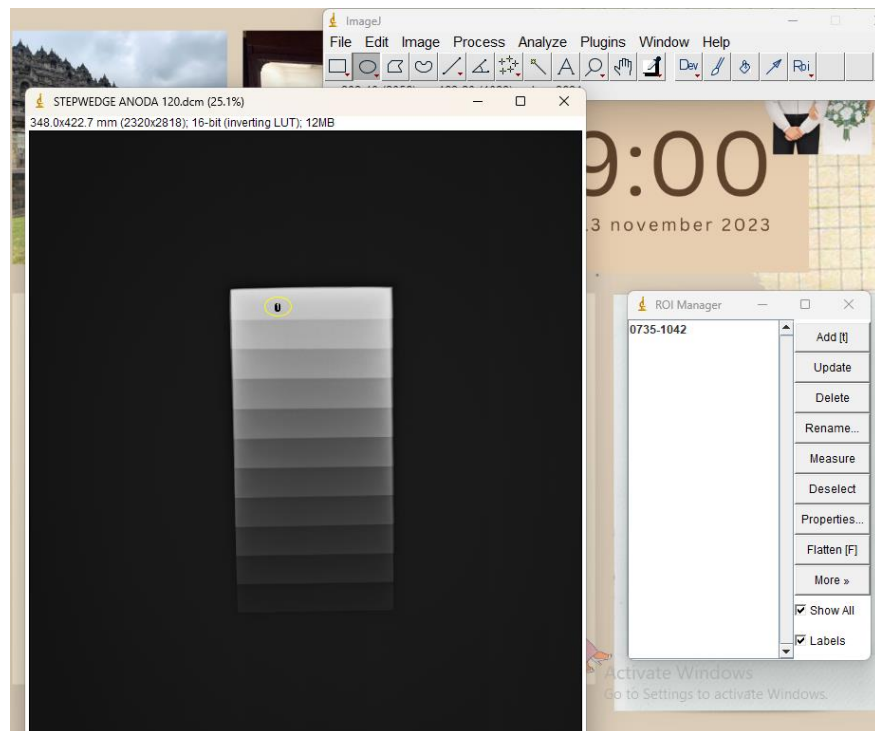
7. Klik menu "Analyze" di taskbar, pilih tools, dan pilih ROI Manager untuk memudahkan penentuan ROI (Region of Interest) di banyak titik dengan ukuran yang konsisten.



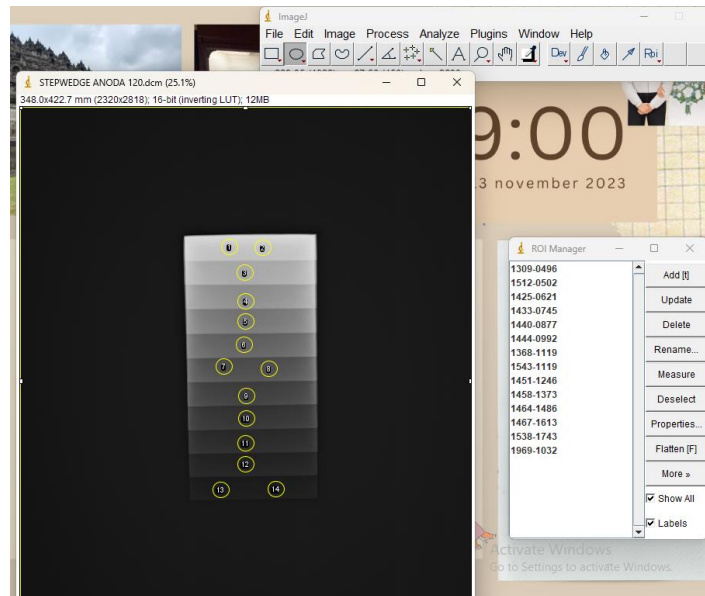
8. Gunakan Oval Selection Tool untuk membuat ROI dalam bentuk lingkaran untuk menganalisis area gambar.



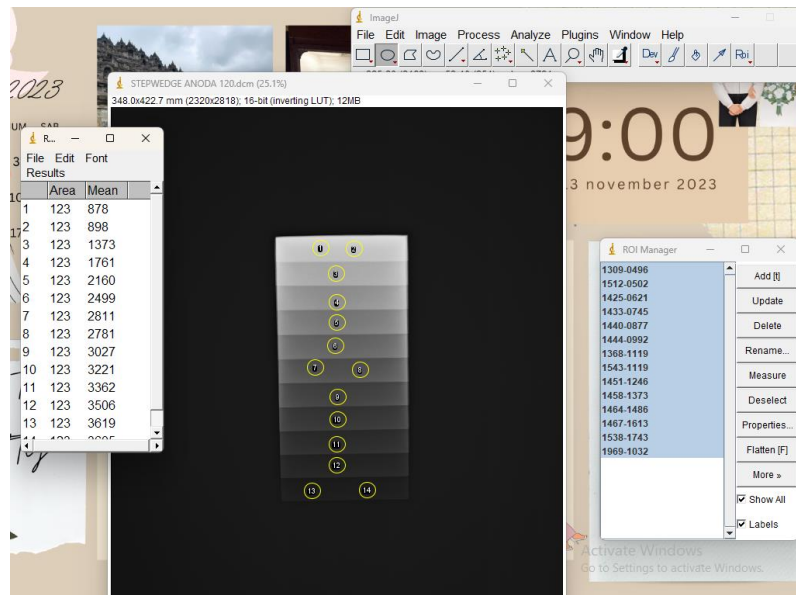
9. Pilih area yang diinginkan dengan ROI, aktifkan opsi "Show All and Labels", dan klik "ADD" di ROI Manager.



10. Buat beberapa ROI di titik-titik yang diinginkan dengan mengklik "ADD" dan kemudian "Update", seperti yang ditunjukkan dalam gambar di bawah ini.



11. Setelah memilih semua area ROI yang ingin dianalisis, klik "Measure". Hasil analisis yang dibutuhkan akan ditampilkan.



Lampiran 3 Dokumentasi penelitian



Lampiran 4 Hasil titik ROI Tanpa Objek

TITIK ROI	AREA	Mean PV 90	Mean PV 100	Mean PV 120
1	123	3582,333	3455,333	2813,667
2	123	3577,333	3446,333	2769
3	123	3584,333	3457,667	2795
4	123	3535,333	3399	2632
5	123	3524,667	3394,333	2590
6	123	3515,667	3381,667	2563
7	123	3531,333	3398,667	2569,333
8	123	3518,667	3386,333	2533,667
9	123	3507,667	3362,667	2581
10	123	3506,333	3359	2545,667
11	123	3504,333	3352,667	2534
12	123	3332,667	3321,667	2531
13	123	3341,667	3306,667	2536
14	123	3319,333	3309,667	2527,667

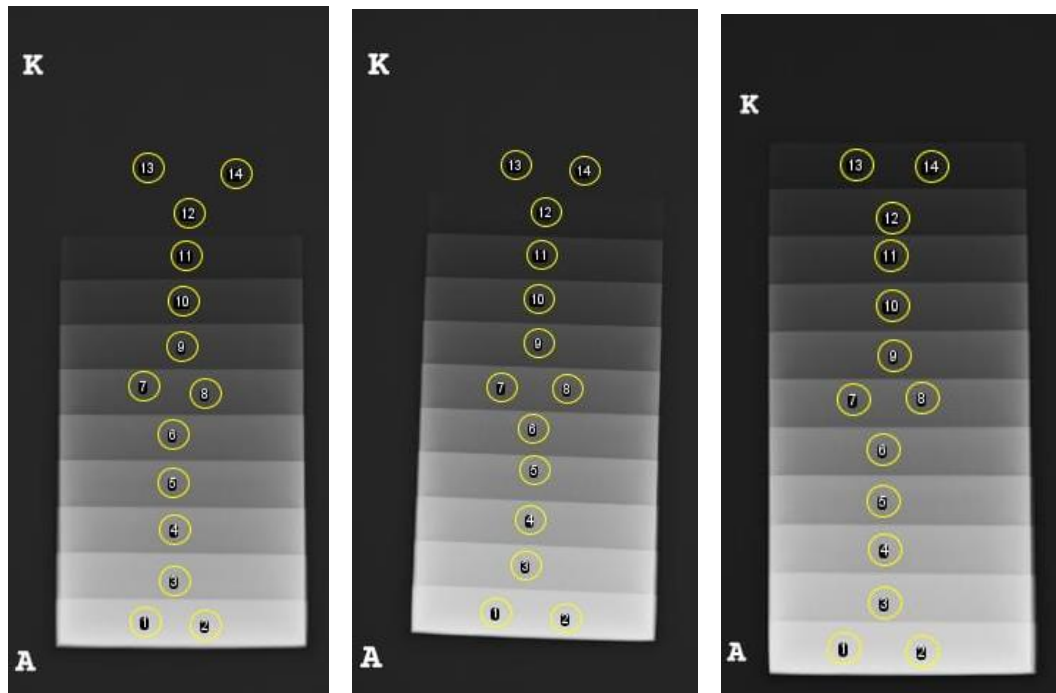
Lampiran 5 Hasil titik ROI Pedis di sisi Katoda

Titik ROI	FFD 90	FFD 100	FFD 120
1	467	422	415
2	492	473	458
3	979	641	634
4	1007	979	969
5	1388	1163	1105
6	1003	954	842
7	2274	2173	2314
8	1448	1396	1533
9	1467	1231	1162
10	992	958	969
11	2100	2059	1905
12	2243	2150	2047
13	2665	2645	2593
14	2756	2753	2736

Lampiran 6 Hasil titik ROI Pedis di sisi Anoda

Titik ROI	FFD 90	FFD 100	FFD 120
1	431	415	407
2	487	459	434
3	782	865	751
4	895	923	868
5	1079	1007	1023
6	868	928	960
7	2063	2050	1894
8	1271	1312	1101
9	1403	1247	1156
10	857	939	919
11	1957	2133	2067
12	2109	2198	2138
13	2587	2584	2497
14	2648	2673	2677

Lampiran 7 Pengujian Stepwedge



(a)

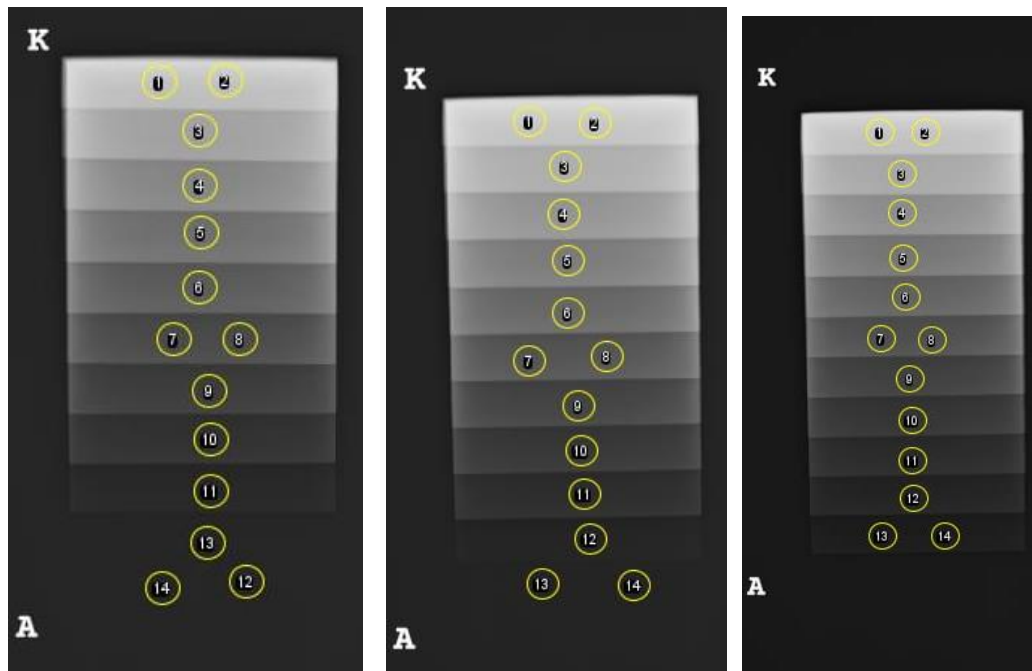
(b)

(c)

Hasil Citra Radiografi objek Stepwedge sisi Anoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm

Hasil PV Stepwedge Anoda

Titik ROI	FFD 90	FFD 100	FFD 120
1	834	782,3333	699
2	888	741	686,3333
3	1385,667	1149,333	1076,333
4	1783,333	1521,667	1408
5	2176,667	1919,333	1796
6	2508,667	2283,333	2189,667
7	2845,667	2617	2481
8	2837,333	2588,667	2494,667
9	3065	2915,667	2843,333
10	3265,667	3137,667	3076,333
11	3424,333	3312	3256
12	3454,667	3463	3416
13	3458,333	3473,667	3454,667
14	3457,667	3470,333	3458,333
Rata-Rata	2527,5	2383,929	2309,69



(a)

(b)

(c)

Hasil Citra Radiograf Objek Stepwedge sisi Katoda (a) FFD 90 cm, (b) FFD 100 cm, (c) FFD 120 cm

Hasil PV Stepwedge Katoda

Titik ROI	FFD 90	FFD 100	FFD 120
1	912,3333	892,3333	775,3333
2	931,6667	896,3333	757,3333
3	1483,667	1371,333	1267,333
4	1914,667	1775	1656
5	2266,333	2155,333	2071
6	2580,333	2492,333	2411,667
7	2880	2794,333	2708,667
8	2845,667	2782,333	2640,333
9	3083,333	3037,333	2980
10	3267,667	3221	3179
11	3419,333	3369	3342,333
12	3502	3463,667	3486
13	3619,333	3470,333	3505,333
14	3608	3466,667	3501,333
Rata-Rata	2593,881	2513,381	2448,69

Lampiran 8 tabel jadwal penelitian

No	Kegiatan	Bulan							
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu
1.	Persiapan Penelitian								
	a. Pengajuan draft judul penelitian								
	b. Pengajuan Proposal								
	c. Perijinan Penelitian								
2.	Pelaksanaan								
	a. Pengumpulan data								
	b. Analisis data								
3.	Penyusunan Laporan								