

Pengaruh *Focus Film Distance* (FFD) terhadap Nilai Uji Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner untuk Pemeriksaan Pasien

Nathaniel Marcellino^{1*}, Ni Nyoman Ratini², I Wayan Balik Sudarsana³, Gusti Ngurah Sutapa⁴, I. B. Alit Paramarta⁵, I. G. Antha Kasmawan⁶

^{1,2,4,5,6} Program Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.

³ Instalasi Radiodiagnostik, RSUP Prof. Dr I.G.N.G. Ngoerah, Bali, Indonesia.

Received: 19 December 2025

Revised: 22 April 2025

Accepted: 28 April 2025

Corresponding Author:

Nathaniel Marcellino

marcellinonathaniel@gmail.com

© 2025 Kappa Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.28903>

Abstract: A study has been conducted on the effect of Focus Film Distance (FFD) on the collimation test values of stationary X-ray unit collimators for patient examinations. This research aims to determine the extent to which FFD affects collimation test values. The FFD variations used were 90 cm, 95 cm, 100 cm, 105 cm, 110 cm, 115 cm, and 120 cm. There are three tests in the collimation test: illumination test, collimation field discrepancy with X-ray beam, and X-ray beam perpendicularity. The illumination test was conducted using a lux meter, which was then averaged per FFD. The resulting illumination values corresponding to the FFD variations were 425.25 lux, 381.55 lux, 343.90 lux, 311.80 lux, 283.50 lux, 259.45 lux, and 238.20 lux. These results conform to the inverse square law. For the collimation field discrepancy values $|dX|$ and $|dY|$, corresponding to the FFD variations, the values were 0.68 and 0.62; 0.32 and 0.34; 0.02 and 0.02; 0.10 and 0.08; 0.18 and 0.20; 0.34 and 0.32; 0.48 and 0.50, respectively. The X-ray beam perpendicularity value remained constant for all FFD variations at 1.03° . The values obtained from the three tests comply with the Indonesian Ministry of Health Regulation No. 1250/MENKES/SK/XII/2009 concerning Quality Control Guidelines for Radiodiagnostic Equipment.

Keywords: Collimation test; focus film distance; FFD; illumination test; collimation field discrepancy with X-ray beam; X-ray beam perpendicularity.

Pendahuluan

Dalam kemajuan dunia medis, pemanfaatan sinar-X di bidang kedokteran menjadi sangat penting. Aplikasi sinar-X dalam bidang kedokteran cukup beragam mulai dari radiasi untuk diagnostik, hingga penggunaan radiasi sinar-X untuk terapi. Menurut Perka BAPETEN No 8 Tahun 2011, radiodiagnostik adalah pemanfaatan radiasi pengion dengan pesawat sinar-X untuk tujuan diagnostik. Pesawat sinar-X digunakan untuk mendiagnose medis dengan memanfaatkan berkas sinar-X. Pesawat sinar-X adalah sumber radiasi yang didesain untuk tujuan diagnostik

yang terdiri dari sistem sinar-X dan subsistem sinar-X atau komponen. Pesawat sinar-X stasioner terdiri dari beberapa komponen, salah satunya adalah kolimator. Kolimator adalah bagian dari pesawat sinar-X yang berfungsi untuk pengaturan luas lapangan radiasi (BAPETEN, 2014). Pengaturan pada kolimator adalah proses penyesuaian cahaya kolimator agar sesuai dengan area yang diinginkan pada objek pemeriksaan. Dalam hal ini terdapat 3 uji pada kolimator, yaitu uji iluminasi, selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan ketegaklurusan berkas sinar-X. Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan

How to Cite:

Marcellino, N., Ratini, N. N., Sudarsana, I. W. B., Sutapa, G. N., Paramarta, I. B. A., & Kasmawan, I. G. A. (2025). Pengaruh *Focus Film Distance* (FFD) terhadap Nilai Uji Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner untuk Pemeriksaan Pasien. *Kappa Journal*, 9(1), 49-57. <https://doi.org/10.29408/kpj.v9i1.28903>

No.1250/MENKES/SK/XII/2009, standar nilai iluminasi cahaya kolimator adalah ≥ 100 lux, kemudian standar nilai untuk selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X adalah $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y| \leq 2\%$ SID dan standar nilai untuk ketegaklurusan berkas sinar-X adalah kemiringan pusat berkas $\leq 3^\circ$. Melakukan uji iluminasi cahaya kolimator, uji kesesuaian lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan ketegaklurusan berkas sinar-X pada pesawat sinar-X penting untuk dilakukan untuk mengetahui apakah kolimator pesawat telah sesuai dengan peraturan yang berlaku, sehingga jika ditemukan ketidaksesuaian maka akan dilakukan penggantian komponen pada pesawat sinar-X tersebut. Kesesuaian selisih lapangan kolimasi, serta ketegaklurusan berkas sinar-X menjadi faktor yang mempengaruhi kualitas gambar radiografi, maupun radioterapi. Focus Film Distance (FFD) adalah jarak antara titik fokus sinar-X dan permukaan film (Mayani, 2017). FFD memiliki nilai yang berbeda-beda, yang disesuaikan dengan jenis pemeriksaan. Dalam radiografi, pemeriksaan thorax menggunakan FFD sebesar 120 cm, dan pada abdomen digunakan FFD sebesar 100 cm (Febriani, 2013). Kemudian, pada pelvis digunakan FFD sebesar 100 cm (Yuwanda, 2020), dan pada pemeriksaan kepala digunakan FFD 100 cm (Priyono, dkk., 2020). Nilai FFD tidak hanya berpengaruh terhadap kualitas gambar, namun juga berpengaruh terhadap tingkat iluminasi cahaya. Hal ini sesuai dengan hukum kuadrat terbalik (Inverse Square Law) yang menjelaskan bahwa semakin jauh jarak sumber cahaya dengan bidang maka semakin rendah tingkat iluminasi, begitu pula sebaliknya. Artinya, tingkat iluminasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara sumber cahaya ke bidang (Oktavia, 2021).

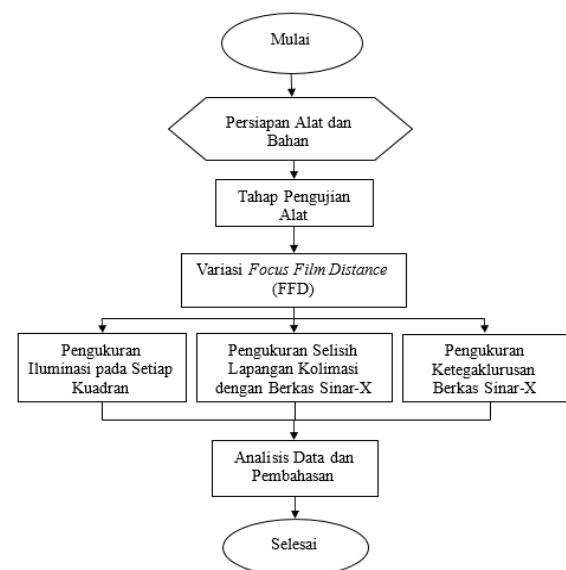
Berdasarkan penjelasan dan informasi di atas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul "Pengaruh Focus Film Distance (FFD) terhadap Nilai Uji Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner untuk Pemeriksaan Pasien". Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui nilai iluminasi, nilai selisih lapangan kolimasi, dan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X pada kolimator pesawat sinar-X stasioner terhadap variasi Focus Film Distance (FFD) untuk pemeriksaan pasien, mengetahui nilai iluminasi, nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X sesuai dengan batas toleransi yang ditetapkan pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009, serta mengetahui perbandingan nilai iluminasi terukur pada lux meter dengan nilai iluminasi hasil perhitungan persamaan Hukum Kuadrat Terbalik.

Metode

Penelitian mengenai Pengaruh Focus Film Distance (FFD) Pasien Kanker terhadap Nilai Uji

Kolimasi pada Kolimator Pesawat Sinar-X Stasioner dilakukan di Instalasi Radiodiagnostik RSUP Prof. Dr I.G.N.G. Ngoerah pada bulan Juli - Oktober 2024. Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Pesawat Sinar-X Stasioner (merk Philips, tipe Digital Diagnost 4 High Performance, No seri 20000336, merk tabung Philips, tipe tabung SRO33100, No seri tabung 267318), meteran, *waterpass*, komputer konsol, *collimator test tool*, *alignment test tool*, *image receptor*, dan lux meter. data iluminasi diambil dengan melakukan pengukuran cahaya kolimator dengan menggunakan lux meter, sedangkan data selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dan data ketegaklurusan berkas sinar-X diambil dengan melakukan ekspose pada pesawat sinar-X.

Variabel yang digunakan yaitu variabel bebas yaitu FFD yang divariasikan pada 90 cm, 95 cm, 100 cm, 105 cm, 110 cm, 115 cm dan 120 cm, variabel terikat yaitu nilai iluminasi cahaya kolimitor, nilai selisih lapangan kolimasi berkas sinar-X, dan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X, dan variabel kontrol yaitu intensitas cahaya kolimator, faktor eksposi 40 kV dan 20 mAs dan luas lapangan 10 cm x 10 cm. penelitian dilakukan berdasarkan diagram alur berikut.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Analisis data dilakukan dengan menghitung uji iluminasi, selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, ketegaklurusan berkas sinar-x, serta melakukan uji statistik dari ketiga hasil tersebut.

a. Uji iluminasi

Nilai iluminasi yang terukur pada lux meter untuk setiap kuadran (kuadran I, II, III, dan IV) dengan lima kali pengulangan kemudian dihitung rata-ratanya. Nilai rata-rata dirumuskan pada persamaan 1 dan standar deviasi pada persamaan 2.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

$$\text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

- b. Selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-x
Nilai selisih lapangan kolimasi diperoleh dengan melakukan penyinaran pada *collimator test tool* yang diletakan di atas *Image receptor*. Penyinaran dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan menghasilkan citra yang dapat diolah pada komputer. Pada setiap citra, masing-masing sisi (indikator) diambil satu titik, sehingga terdapat lima nilai untuk setiap indikator. Nilai dari masing-masing indikator kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata dirumuskan pada Persamaan 1 dan standar deviasi dirumuskan pada Persamaan 2. Hasil rata-rata digunakan untuk menghitung selisih *collimator test tool* dengan berkas hasil penyinaran dengan menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$|\Delta X| = \Delta x_1 + \Delta x_2 \quad (3)$$

$$|\Delta Y| = \Delta y_1 + \Delta y_2 \quad (4)$$

- c. Ketegaklurusan berkas sinar-x
Ketegaklurusan berkas sinar-X diperoleh dengan melakukan penyinaran pada *collimator test tool* dan *alignment test tool* yang diletakan di atas *Image receptor*. Penyinaran dilakukan sebanyak lima kali pengulangan dan menghasilkan citra yang dapat diolah pada komputer. Pada setiap citra, akan terlihat penyimpangan berkas sinar-X. Nilai penyimpangan ini kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata dirumuskan pada Persamaan 3.1 dan standar deviasi dirumuskan pada Persamaan 3.2. Hasil rata-rata digunakan untuk menghitung ketegaklurusan berkas sinar-X dengan menggunakan Persamaan (5).

$$\theta = \tan^{-1} \frac{de}{ce} \quad (5)$$

- d. Uji statistik
Uji statistik yang digunakan adalah uji-t searah untuk menguji apakah nilai uji iluminasi, nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X berpengaruh terhadap variasi FFD. Adapun pengujian uji-t satu arah dilaksanakan dengan menggunakan *software* SPSS dengan tingkat kepercayaan 95% atau taraf signifikansi 0,05 dengan hipotesis sebagai berikut:
H₀: Nilai iluminasi dengan variasi FFD tidak sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.
H₁: Nilai iluminasi dengan variasi FFD sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.
Kemudian, hipotesis untuk nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X adalah sebagai berikut:

H₀: Nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dengan variasi FFD tidak sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.

H₁: Nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dengan variasi FFD sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.

Hipotesis untuk nilai ketegaklurusan berkas sinar-X adalah sebagai berikut:

H₀: Nilai ketegaklurusan berkas sinar-X dengan variasi FFD tidak sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.

H₁: Nilai ketegaklurusan berkas sinar-X dengan variasi FFD sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009.

Dari hasil uji statistik, data akan dibandingkan dengan nilai signifikansi yang diperoleh. Jika nilai signifikansi > 0,05 maka H₀ diterima sementara H₁ ditolak, sebaliknya jika nilai signifikansi < 0,05 maka H₀ ditolak dan H₁ diterima. Hasil uji statistik akan dibandingkan t hitung dengan t tabel, dimana t tabel dapat dilihat pada Lampiran 1. Jika nilai t hitung > t tabel maka H₀ ditolak dan H₁ diterima, sebaliknya jika nilai t hitung < t tabel maka H₀ diterima dan H₁ ditolak. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat diketahui apakah uji kolimasi pada kolimator pesawat sinar-X stasioner telah sesuai dengan standar yang telah ditetapkan atau tidak.

Hasil Dan Pembahasan

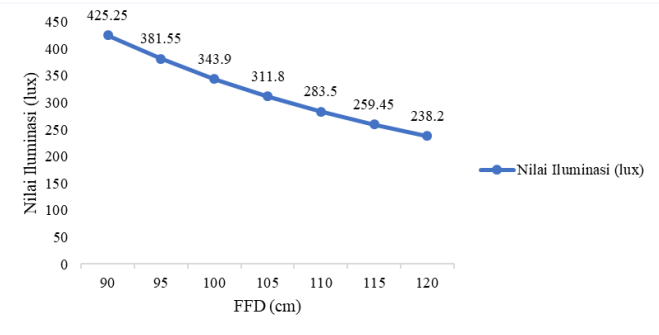
1. Hasil pengukuran nilai iluminasi menggunakan luxmeter

Berdasarkan penelitian, didapatkan nilai rata-rata iluminasi untuk tiap FFD seperti ditampilkan pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai iluminasi rata-rata untuk setiap FFD.

FFD (cm)	$\bar{E} \pm \Delta E$ (lux)
90	425,25 ± 1,016940
95	381,55 ± 0,748332
100	343,90 ± 0,675446
105	311,80 ± 0,346410
110	283,50 ± 0,583095
115	259,45 ± 0,600001
120	238,20 ± 0,447214

Berdasarkan tabel tersebut, maka didapatkan grafik perbandingan FFD dengan iluminasi seperti ditampilkan pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Grafik perbandingan FFD dengan iluminasi

Berdasarkan Gambar 2 yang menunjukkan grafik perbandingan jarak dengan nilai iluminasi, didapat bahwa semakin jauh jarak FFD maka nilai iluminasi semakin rendah. Sedangkan untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak maka dilakukan uji normalitas dengan *software* SPSS versi 25. Uji normalitas yang digunakan adalah uji *Shapiro wilk* dimana data akan dikatakan terdistribusi normal apabila nilai *p-value* > 0,05. Nilai *p-value shapiro wilk* untuk nilai uji iluminasi ditunjukkan pada Tabel 2.

FFD (cm)	Nilai <i>p-value shapiro wilk</i>
90	0,078
95	0,084
100	0,069
105	0,102
110	0,089
115	0,081
120	0,100

Berdasarkan tabel diatas nilai *p-value* > 0,05 maka nilai uji iluminasi sudah terdistribusi normal. Jika data sudah terdistribusi normal, maka selanjutnya dilakukan uji-t searah dengan *software* SPSS versi 25 untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara nilai uji iluminasi dengan terhadap variasi FFD. Hasil uji statistika ditampilkan pada Tabel 3.

Iluminasi (lux)	<i>t-test for Equality of Means</i>
	<i>Sig (2-tailed)</i>
	0,000

Berdasarkan hasil uji *one sample t-test* pada Tabel 3 menghasilkan nilai *Sig (2-tailed)* ≤ 0,05 yakni 0,000 sehingga *H₀* ditolak dan *H₁* diterima. Berdasarkan hipotesis yang telah ditetapkan diperoleh terdapat pengaruh antara nilai iluminasi dengan variasi FFD.

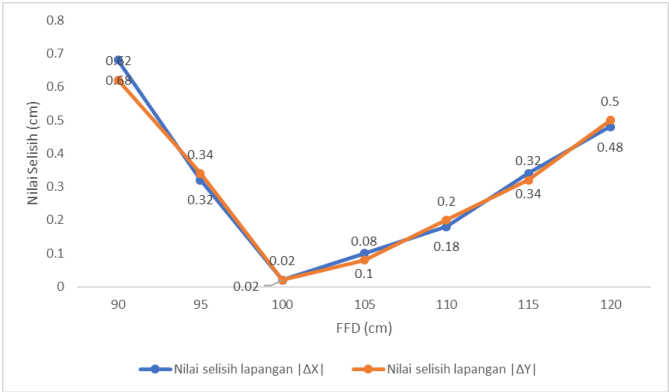
2. Hasil Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X.

Berdasarkan pengukuran, didapatkan nilai rata-rata dari hasil pengukuran lapangan sinar-X pada setiap titik ukur dan nilai standar deviasinya, serta nilai hasil pengurangan dari luas lapangan cahaya dengan rata-rata hasil pengukuran berkas sinar-X. berdasarkan data tersebut, maka dihitung total selisih pada setiap indicator dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Nilai akhir selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X

FFD (cm)	Indikator (cm)				Total Selisih Indikator (cm)	
	$\Delta x_1 \pm \Delta x_{r1}$	$\Delta x_2 \pm \Delta x_{r2}$	$\Delta y_1 \pm \Delta y_{r1}$	$\Delta y_2 \pm \Delta y_{r2}$	$ \Delta X \pm \Delta x_r$	$ \Delta Y \pm \Delta y_r$
90	$0,34 \pm 0,024495$	$0,34 \pm 0,024495$	$0,32 \pm 0,020000$	$0,30 \pm 0,031623$	$0,68 \pm 0,246172$	$0,62 \pm 0,037417$
95	$0,14 \pm 0,024495$	$0,18 \pm 0,020000$	$0,16 \pm 0,024495$	$0,18 \pm 0,020000$	$0,32 \pm 0,031623$	$0,34 \pm 0,031623$
100	$0,00 \pm 0,031623$	$0,02 \pm 0,037417$	$0,02 \pm 0,020000$	$0,00 \pm 0,031623$	$0,02 \pm 0,048990$	$0,02 \pm 0,037417$
105	$0,04 \pm 0,024495$	$0,06 \pm 0,024495$	$0,02 \pm 0,020000$	$0,06 \pm 0,024995$	$0,10 \pm 0,034641$	$0,08 \pm 0,031623$
110	$0,08 \pm 0,020000$	$0,10 \pm 0,031623$	$0,12 \pm 0,020000$	$0,08 \pm 0,020000$	$0,18 \pm 0,037417$	$0,20 \pm 0,028284$
115	$0,18 \pm 0,020000$	$0,16 \pm 0,024495$	$0,16 \pm 0,024495$	$0,16 \pm 0,024495$	$0,34 \pm 0,031623$	$0,32 \pm 0,034641$
120	$0,26 \pm 0,024495$	$0,22 \pm 0,020000$	$0,24 \pm 0,024495$	$0,26 \pm 0,024495$	$0,48 \pm 0,031623$	$0,50 \pm 0,034641$

Berdasarkan tabel tersebut, maka didapatkan grafik perbandingan nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap FFD seperti pada gambar berikut.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X terhadap Variasi FFD.

Berdasarkan Gambar 3, didapat bahwa nilai selisih paling kecil terdapat pada saat FFD berada di nilai 100 cm. Sedangkan untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak maka dilakukan uji normalitas dengan *software* SPSS versi 25. Uji normalitas yang digunakan adalah uji *Shapiro wilk* yang mana data akan dikatakan terdistribusi normal apabila nilai *p-value* > 0,05. Nilai *p-value shapiro wilk* untuk nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada FFD 90 cm ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap batas nilai Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/ XII/2009

FFD	dX (cm)	dY (cm)	Batas nilai selisih (≤ 2% FFD)
90	0,68	0,62	1,8
95	0,32	0,34	1,9
100	0,02	0,02	2,0
105	0,10	0,08	2,1
110	0,18	0,20	2,2
115	0,34	0,32	2,3
120	0,48	0,50	2,4

Sedangkan untuk mengetahui apakah data terdistribusi normal atau tidak maka dilakukan uji normalitas dengan *software* SPSS versi 25. Uji normalitas yang digunakan adalah uji *Shapiro wilk* yang mana data akan dikatakan terdistribusi normal apabila nilai *p-value* > 0,05. Nilai *p-value shapiro wilk* untuk nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X ditunjukkan pada Tabel 6

Tabel 6. Nilai *p-value* uji normalitas untuk nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X.

	FFD (cm)	Nilai <i>p-value shapiro wilk</i>
ΔX	90	0,091
	95	0,087
	100	0,054
	105	0,177
	110	0,172
	115	0,174
	120	0,179
ΔY	90	0,096
	95	0,062
	100	0,056
	105	0,130
	110	0,176
	115	0,148
	120	0,146

Berdasarkan tabel diatas nilai *p-value* > 0,05 maka nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X sudah terdistribusi normal. Jika data sudah terdistribusi normal, maka selanjutnya dilakukan uji-t searah dengan *software* SPSS versi 25 untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan antara nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap variasi FFD. Hasil uji statistika pada FFD 90 cm ditampilkan pada tabel 6 berikut.

Tabel 7. Nilai *sig (2-tailed)* uji one sample *t-test* untuk selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada FFD 90 cm.

Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X	<i>t-test for Equality of Means</i> <i>Sig (2-tailed)</i>
ΔX	0,000
ΔY	0,000

Berdasarkan hasil uji one sample *t-test* pada Tabel 6 menghasilkan nilai *Sig (2-tailed)* ≤ 0,05 yakni 0,000 sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Berdasarkan hipotesis yang telah ditetapkan diperoleh terdapat pengaruh antara nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap variasi FFD.

3. Hasil pengukuran ketegaklurusan berkas sinar-X
Berdasarkan penelitian, didapatkan hasil pengukuran dan rata-rata data yang didapat untuk ketegaklurusan berkas sinar-X dengan variasi FFD sebagai jarak, ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 8. Data Ketegaklurusan Berkas Sinar-X.

FFD (cm)	Nilai de (cm)					Nilai ce (cm)					$\overline{de} \pm \Delta de$ (cm)	$\overline{ce} \pm \Delta ce$ (cm)
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
90	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
95	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
100	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
105	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
110	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
115	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$
120	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	20,5	20,5	20,5	20,5	20,5	$0,3 \pm 0,05$	$20,5 \pm 0,05$

Pada Tabel 8, didapatkan bahwa data untuk nilai de dan nilai ce adalah konstan. Selanjutnya, dicari nilai sudut ketegaklurusan dengan menggunakan Persamaan 5. Berikut ini perhitungan nilai sudut ketegaklurusan berkas sinar-X.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{de}{ce}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(0,3 \pm 0,05) \text{ cm}}{(20,5 \pm 0,05) \text{ cm}}$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,0175609 \pm 0,001196$$

$$\theta = 1,01^\circ$$

Diperoleh hasil perhitungan nilai ketegaklurusan berkas sinar-X adalah $1,01^\circ$. Dikarenakan data yang diperoleh dari variasi FFD 90 cm hingga 120 cm adalah sama, maka nilai sudut ketegaklurusan yang diperoleh pun sama yaitu sebesar $1,006062^\circ$.

4. Pengukuran iluminasi menggunakan hukum kuadrat terbalik.

Pengukuran nilai iluminasi suatu jarak menggunakan hukum kuadrat terbalik menggunakan Persamaan 2.9, dimana E_1 merupakan nilai iluminasi pada FFD 100 cm (sebagai referensi). Salah satu contoh perhitungan iluminasi pada FFD 90 cm dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik sebagai berikut.

$$E_1 r_1^2 = E_2 r_2^2$$

$$(343,90 \pm 0,675446) \text{ lux} \times (100 \text{ cm})^2 = E_2 \cdot (90 \text{ cm})^2$$

$$E_2 = \frac{(343,90 \pm 0,675446) \text{ lux} \cdot (100 \text{ cm})^2}{(90 \text{ cm})^2}$$

$$E_2 = \frac{(3439000 \pm 6754,46) \text{ lux} \cdot \text{cm}^2}{8100 \text{ cm}^2}$$

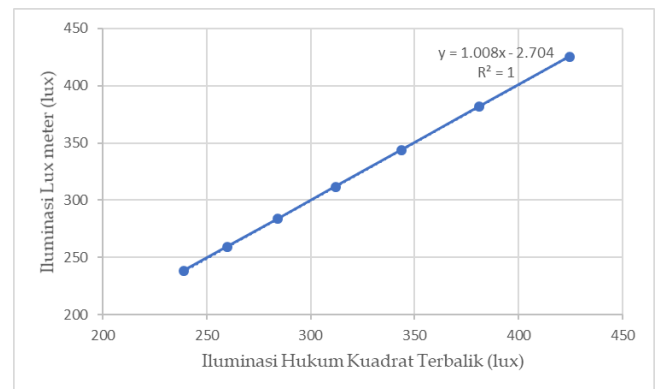
$$E_2 = (424,57 \pm 0,833884) \text{ lux}$$

Diperoleh hasil perhitungan nilai iluminasi pada FFD 90 dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik sebesar $(424,57 \pm 0,083388) \text{ lux}$. Untuk hasil perhitungan nilai iluminasi variasi FFD dengan hukum kuadrat terbalik secara lengkap ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 9. Nilai iluminasi dengan menggunakan hukum kuadrat terbalik

FFD (cm)	Iluminasi (lux)
90	$424,57 \pm 0,083388$
95	$381,05 \pm 0,748417$
100	$343,90 \pm 0,675446$
105	$311,93 \pm 0,612651$
110	$284,21 \pm 0,558221$
115	$260,04 \pm 0,510734$
120	$238,82 \pm 0,469061$

Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat ditampilkan grafi perbandingan antara nilai iluminasi hasil *lux meter* dengan nilai iluminasi hasil perhitungan dengan hukum kuadrat terbalik seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. Grafik perbandingan hasil nilai iluminasi pada luxmeter terhadap hasil nilai iluminasi pada hukum kuadrat terbalik.

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai iluminasi akan semakin kecil apabila FFD semakin besar. Hal ini sesuai dengan bunyi dari hukum kuadrat terbalik, dimana sebuah cahaya akan semakin redup seiring bertambahnya jarak dari sumber cahaya tersebut. Pada FFD 90 cm didapatkan nilai iluminasi $(425,25 \pm 1,016940) \text{ lux}$, FFD 95 cm sebesar $(381,55 \pm 0,748332) \text{ lux}$, FFD 100 cm sebesar $(343,90 \pm 0,675446) \text{ lux}$, FFD 105 cm sebesar $(311,80 \pm 0,346410) \text{ lux}$, FFD 110 cm sebesar $(283,50 \pm 0,583095) \text{ lux}$, FFD 115 cm sebesar $(259,45 \pm 0,600001) \text{ lux}$, dan FFD 120 cm sebesar $(238,20 \pm 0,447214) \text{ lux}$. Grafik hubungan antara FFD sebagai jarak dan iluminasi dapat dilihat pada Gambar 1. Selanjutnya dilakukan uji normalitas untuk data hasil iluminasi, didapatkan nilai *p-value shapiro wilk* pada FFD 90 cm sebesar 0,078, pada FFD 95 cm sebesar 0,084, pada FFD 100 cm sebesar 0,069, pada FFD 105 cm sebesar 0,102, pada FFD 110 cm sebesar 0,089, pada FFD 115 sebesar 0,081, dan pada FFD 120 sebesar 0,100. Nilai tersebut membuktikan bahwa data sudah terdistribusi normal dikarenakan $p\text{-value} > 0,05$. Setelah data telah terdistribusi normal, dilakukan uji *one sample t-test* untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh antara nilai iluminasi terhadap variasi FFD dengan *software SPSS 25*. Hasil dari uji *one sample t-test* yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 menghasilkan nilai *Sig (2-tailed)* sebesar 0,000 ($< 0,05$) sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Kemudian dapat dibandingkan juga antara *t* hitung dengan *t* tabel, dimana nilai *t* hitung adalah 8,660 dan *t* tabel adalah 1,895. Sehingga nilai *t* hitung $\geq$ *t* tabel, yang berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima. Berdasarkan hipotesis yang telah ditetapkan, nilai iluminasi dengan variasi FFD sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/ XII/2009. Pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009, menyatakan bahwa batas nilai iluminasi adalah $\geq 100 \text{ lux}$.

Luas lapangan penyinaran yaitu lima (5) cm dikurangi oleh rata-rata hasil pengukuran yang akan menghasilkan nilai selisih pada setiap titik ukurnya.

Setelah itu, nilai selisih pada titik ukur dijumlahkan berdasarkan sumbunya untuk menghasilkan nilai $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$. Pada FFD 90 cm didapatkan nilai $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ berturut-turut yaitu sebesar $(0,68 \pm 0,246172)$ cm dan $(0,62 \pm 0,037417)$ cm, pada FFD 95 cm sebesar $(0,32 \pm 0,031623)$ cm dan $(0,34 \pm 0,031623)$ cm, pada FFD 100 cm sebesar $(0,02 \pm 0,048990)$ cm dan $(0,02 \pm 0,037417)$ cm, pada FFD 105 cm sebesar $(0,10 \pm 0,034641)$ cm dan $(0,08 \pm 0,031623)$, pada FFD sebesar 110 cm sebesar $(0,18 \pm 0,037417)$ cm dan $(0,20 \pm 0,028284)$ cm, pada FFD 115 cm sebesar $(0,34 \pm 0,031623)$ cm dan $(0,32 \pm 0,034641)$ cm, dan pada FFD 120 cm sebesar $(0,48 \pm 0,031623)$ cm dan $(0,50 \pm 0,034641)$ cm. Grafik perbandingan nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap variasi FFD dapat dilihat pada Gambar 4.2, dimana nilai selisih paling kecil berada pada FFD 100 cm, dan nilai selisih akan membesar apabila FFD dibawah 100 cm dan diatas 100 cm.. Selanjutnya dilakukan uji normalitas, didapatkan nilai *p-value shapiro wilk* pada $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ berturut-turut sebesar 0,879 dan 0,861 yang mana berarti data sudah terdistribusi normal dikarenakan *p-value* > 0,05. Setelah data terdistribusi normal, dilakukan uji *one sample t-test* yang untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh antara nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X terhadap variasi FFD dengan *software* SPSS 25. Hasil dari uji *one sample t-test* yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 menghasilkan nilai seluruh *Sig (2-tailed)* adalah sebesar 0,000, sehingga H_0 ditolak dan H_1 diterima. Kemudian dapat dibandingkan juga antara *t* hitung dengan *t* tabel, dimana nilai *t* hitung $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ pada FFD 90 cm sebesar 17,383 dan 13,689, pada FFD 95 cm sebesar 18,544 dan 19,591, pada FFD sebesar 100 cm sebesar 19,705 dan 20,813, pada FFD 105 cm sebesar 20,866 dan 22,035, pada FFD 110 cm sebesar 22,028 dan 23,258, pada FFD 115 cm sebesar 23,189 dan 24,480, pada FFD 120 cm sebesar 24,350 dan 25,702. Hasil seluruh *t* hitung $\geq t$ tabel, berdasarkan hipotesis yang telah ditetapkan nilai selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X dengan variasi FFD sesuai dengan batas toleransi pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009. Pada Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009, menyatakan bahwa nilai batas $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ adalah $\leq 2\%$ FFD.

Selanjutnya, hasil uji ketegaklurusan berkas sinar-X ditunjukkan pada Tabel 4.9. Didapatkan nilai *de* dan nilai *ce* sama (konstan) untuk setiap FFD. Setelah didapatkan nilai *de* dan *ce*, maka dapat dicari nilai ketegaklurusan berkas sinar-X dengan Persamaan 3.5, nilai sudut ketegaklurusan yang didapat sebesar $1,006062^\circ$. Nilai ketegaklurusan yang didapat dari penelitian ini, masih berada dalam ambang batas Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009, yang menyatakan

bahwa nilai $\theta \leq 3^\circ$. Dikarenakan data yang didapat konstan, maka tidak dapat dilakukan uji statistik untuk uji normalitas dan uji *t* searah. Sehingga dapat diartikan bahwa variasi FFD tidak berpengaruh terhadap nilai ketegaklurusan berkas sinar-X.

Pada perhitungan iluminasi menggunakan hukum kuadrat terbalik (Persamaan 3.6), digunakan (E_1 sumber referensi) adalah nilai iluminasi pada FFD 100 cm. Kemudian E_2 adalah nilai iluminasi yang akan dicari pada FFD tertentu. Pada FFD 90 cm didapatkan nilai iluminasi hasil perhitungan sebesar $(4\ 24,57 \pm 0,83)$ lux, pada FFD 95 cm didapatkan nilai iluminasi sebesar $(381,05 \pm 0,75)$ lux, pada FFD 105 cm didapatkan nilai iluminasi sebesar $(311,03 \pm 0,61)$ lux, pada FFD 110 cm didapatkan nilai iluminasi sebesar $(284,21 \pm 0,56)$ lux, pada FFD 115 cm didapatkan nilai iluminasi sebesar $(260,04 \pm 0,51)$ lux, dan pada FFD 120 cm didapatkan nilai iluminasi sebesar $(238,82 \pm 0,47)$ lux. Hasil nilai iluminasi dari perhitungan hukum kuadrat terbalik dan lux meter kemudian dibandingkan dan dicari regresi linear nya. Pada Gambar 4.3 didapatkan nilai regresi linear nya (R^2) adalah 1, yang berarti data nilai iluminasi dari perhitungan hukum kuadrat terbalik menghasilkan nilai yang sama dengan nilai iluminasi dari lux meter.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh Focus Film Distance (FFD) terhadap nilai uji kolimasi pada kolimator pesawat sinar-x stasioner untuk pemeriksaan pasien dapat disimpulkan bahwa: 1). Uji iluminasi yang dilakukan didapatkan data nilai iluminasi menurun seiring meningkatnya FFD, dimulai dari 425,5 lux pada FFD 90 cm hingga 238,2 lux pada FFD 120 cm. Nilai selisih lapangan kolimasi $|\Delta X|$ dan $|\Delta Y|$ dengan nilai terkecil didapatkan pada FFD 100 cm yaitu sebesar 0,02 cm dan 0,02 cm hingga nilai selisih paling besar yang berada pada FFD 90 cm yaitu 0,68 cm dan 0,62 cm. Untuk nilai ketegaklurusan berkas sinar-X, didapatkan nilai yang konstan untuk seluruh FFD, yaitu sebesar $1,01^\circ$; 2). Berdasarkan hasil ketiga uji, maka dapat dinyatakan bahwa nilai iluminasi, selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X, dan ketegaklurusan berkas sinar-X sudah memenuhi Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (Quality Control) Peralatan Radiodiagnostik; 3). Nilai iluminasi yang dihitung menggunakan Hukum Kuadrat Terbalik sesuai dengan nilai iluminasi yang diukur menggunakan lux meter, dengan hasil regresi linear (R^2) = 1. Hal ini menunjukkan bahwa nilai iluminasi yang dihitung dan diukur memiliki kesesuaian yang sangat baik.

Daftar Pustaka

- A'yun, Q. R., 2019, Pengujian Kolimator Pesawat Sinar-X Toshiba DRX-1603B di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang. Karya Tulis Ilmiah. Program Studi Diploma III Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang.
- BAPETEN, 2009, Pedoman Penanggulangan Kedaruratan Radiologi untuk Pelaksana Tanggap Darurat. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- BAPETEN, 2011, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensial, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- BAPETEN. 2014. Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 15 Tahun 2014 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial. Dokumen Teknis, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta.
- BAPETEN, 2019, Buku Pedoman Layanan Perizinan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial. Dokumen Teknis, Badan Pengawas Tenaga Nuklir: Jakarta.
- Dabukke, H., 2018, Pengujian Iluminasi, Kolimasi, Ketegaklurusan dan Kualitas Berkas Pesawat Sinar-X Radiografi Umum dengan Radiografi Mobile. Tesis. Program Studi Magister (S2) Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Sumatera Utara
- Febriani, Siti D. A., 2013, Optimalisasi Dosis Serap dan Kontras Radiograf dengan Permodelan Phantom Akrilik. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.
- Ferryadi, M., 2017, Penentuan Ketepatan Titik Pusat Berkas Sinar dari Sudut berkas pada Pesawat General X-ray sebagai Parameter Kualitas Kontrol. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Penegetahuan Alam. Universitas Sumatra Utara.
- Haryani, L. Wahyu, 2021, Analisis Uji Kolimator Pesawat Sinar-X dengan membandingkan Akurasi antara Beam Alignment Test Tool Tiruan dan Gammex 162A Beam Alignment Test Tool di RSUD Dr. Moewardi Surakarta. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Penegetahuan Alam. Universitas Sebelas Maret.
- Husain, W. 2021. Analisis Pengaruh Tegangan Tabung dan Arus terhadap Daya Serap Radiasi dan Laju Dosis Radiasi pada Bahan Serat Ijuk dan Timbal (II) Oksida sebagai Perisai Sinar-X. Skripsi Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Makassar.
- KEPEMENKES, 2009, Keputusan Menteri Kesehatan No.1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (Quality Control) Peralatan Radiodiagnostik.
- Khan, M.F., 2014, The Physics of Radiation Therapy, The 4th edition, Lippincott Wiliams and Wilkins, New York.
- Marcellino, Nathaniel, 2023, Uji Kesesuaian Kolimasi Pesawat Fluoroskopi di Instalasi Radiologi RSD Mangusada Badung. Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir BAPETEN. Universitas Udayana.
- Mayani, A. N, dan Muhflihatun, 2017, Pengaruh Variasi Focus Film Distance (FFD) terhadap Hasil Presisi Pengukuran Cardiothoracic Ratio (CTR). Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir. Hal 59-64.
- Podgorsak, E. B., 2005. Radiation Oncology Physics: A Handbook For Teachers And Students, International Atomic Energy Agency. Vienna. IAEA. Austria.
- Priyono, S., Anam, C., Budi, Wahyu S., 2020. Pengaruh Rasio Grid terhadap Kualitas Radiograf Fantom Kepala. Jurnal Berkala Fisika. Vol 23 (1): 10 -16.
- Sapitri, D. R., Sri Mulyasih, Utami A. P., 2017, Pengujian Kolimator pada Pesawat SinarX Merk Hitachi di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Dr. Adyatma MPH Semarang. Jurnal Ilmiah Radiologi. Vol 5 (2).
- Sari, Ayu W. 2018. Pengaruh Faktor Eksposidengan Ketebalan Objek pada Pemeriksaan Foto Thorax Terhadap Gambaran Radiografi. Journal of Healt. Vol 5 (1): 17-21
- Satwika, L.G Puja, dan Ratini, N.N., 2019, Uji Kesesuaian Iluminasi Lampu Kolimator pada Pesawat Sinar-X Konvensional di RSUD Sanglah Denpasar. Prosiding Seminar Nasional Sainstek. Hal 18-27.
- Satwiko, Prasasto, 2004, Fisika Bangunan 1 Edisi 1, Andi: Yogyakarta.
- Surya, Muhammad Edy, 2023, Rancang Bangun Lux Meter dilengkapi Penyimpanan Telegram berbasis Internet of Things (IOT). Skripsi. Program Studi Diploma III Teknologi Elektro-Medis Jurusan Teknik Elektromedik. Poltekkes Kemenkes Jakarta II.
- Yuliamdani, Riska, 2020, Pengujian Keselamatan dari Paparan Radiasi Sinar-X di Unit Radiologi RSUD Kota Makassar. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Alauddin. Makassar.
- Yuwanda, Silvia, 2020, Perbandingan Variasi Penyudutan Pemeriksaan Pelvis Proyeksi Outlet pada Perempuan untuk Mendapatkan Informasi

- Anatomi Pelvis Yang Optimal. Karya Tulis Ilmiah. Jurusan Teknik Radiologi. Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Awal Bros. Pekanbaru.
- Wahyanti A. M., Suharyana, Riyatun, 2018, Simulasi Unjuk Kerja Filter Aluminium Pada Pesawat Sinar-X Diagnostik Menggunakan Software MCNP6, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, Batan:331-336.
- Zelviana, Sri, dan Albar, Ahmad, 2018, Hubungan Intensitas Cahaya dan Jarak Pancaran sebagai Hukum Kebalikan Kuadrat. JFT. Vol 5 (1) :7-10