

**PENGARUH VARIASI JARAK FOKUS FILM TERHADAP
DOSIS TERSERAP PASIEN PADA PEMERIKSAAN *THORAX*
DENGAN MESIN RONTGEN DI INSTALASI RADIOLOGI
RUMAH SAKIT IBNU SINA**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

DARA RAMADHANY

220714010

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Fisika**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
TAHUN 2026 M/1447 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH VARIASI JARAK FOKUS FILM TERHADAP DOSIS TERSERAP PASIEN PADA PEMERIKSAAN *THORAX* DENGAN MESIN RONTGEN DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT IBNU SINA

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)
dalam Prodi Teknik Fisika

Oleh:

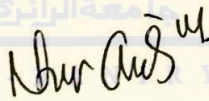
DARA RAMADHANY

220714010

**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Fisika**

Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing,



Dr. Eng. Nur Aida, S.Si., M.Si.

NIDN. 2016067801

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Fisika



Nurhayati, S.Si., M.Si.

NIDN. 2014058901

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI JARAK FOKUS FILM TERHADAP DOSIS
TERSERAP PASIEN PADA PEMERIKSAAN THORAX DENGAN MESIN
RONTGEN DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT IBNU SINA**

TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu/Prodi Teknik Fisika

Pada Hari/Tanggal: Kamis/29 Januari 2026
10 Sya'ban 1447

di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir:

Ketua/ Sekretaris



Dr. Eng. Nur Aida, S.Si., M.Si.

NIDN. 2016067801

Penguji I,



Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D

NIDN. 2010108103

Penguji II,

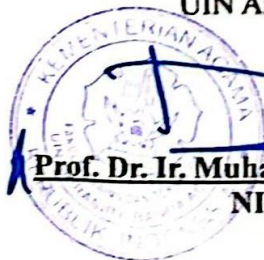


Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc.

NIDN. 2015118002

Mengetahui:

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU

NIDN. 0002106203

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dara Ramadhany
NIM : 220714010
Program Studi : Teknik Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Pengaruh Variasi Jarak Fokus Film Terhadap Dosis Terserap Pasien Pada Pemeriksaan *Thorax* Dengan Mesin Rontgen Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 21 Januari 2026
Yang Menyatakan



(Dara Ramadhany)

ABSTRAK

Nama : Dara Ramadhany
Nim : 220714010
Program Studi : Teknik Fisika
Judul : Pengaruh Variasi Jarak Fokus Film Terhadap Dosis Terserap Pasien Pada Pemeriksaan *Thorax* Dengan Mesin Rontgen Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina.
Tanggal Sidang : 29 Januari 2026
Jumlah Halaman : 72
Pembimbing skripsi : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
Kata Kunci : *Focus Film Distance*, dosis radiasi, *thorax*, sinar-X.

Pemeriksaan *thorax* merupakan prosedur radiologi diagnostik yang paling sering dilakukan dan melibatkan penggunaan radiasi pengion berupa sinar-X. Penggunaan radiasi ini memerlukan upaya optimasi dosis agar manfaat diagnostik tetap tercapai tanpa meningkatkan risiko radiasi. Salah satu parameter teknis yang memengaruhi besarnya dosis radiasi adalah *Focus Film Distance* (FFD). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis radiasi pada pemeriksaan *thorax* serta meninjau kesesuaiannya dengan standar keselamatan radiasi berdasarkan Peraturan BAPETEN. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan data pemeriksaan *thorax* yang dikelompokkan berdasarkan dua pengaturan FFD, yaitu 120 cm dan 140 cm. Dosis radiasi dihitung menggunakan rumus konstanta penyinaran dengan mempertimbangkan parameter eksposi kV, mAs, dan jarak FFD. Analisis statistik dilakukan menggunakan *one sample t-test* untuk mengevaluasi apakah nilai dosis serap berada di bawah batas keselamatan radiasi. Validitas data diperkuat dengan hasil kalibrasi pesawat sinar-X. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) memengaruhi dosis radiasi yang diterima pasien sesuai dengan prinsip penurunan intensitas radiasi terhadap jarak. Seluruh nilai dosis serap berada secara signifikan di bawah batas dosis yang ditetapkan BAPETEN. Dengan demikian, penggunaan FFD yang lebih panjang dapat dipertimbangkan sebagai strategi optimasi eksposi yang aman pada pemeriksaan *thorax*.

ABSTRACT

Name : Dara Ramadhany
Student ID Number : 220714010
Department : Physics Engineering
Title : *The Effect of Focus Film Distance Variation on Patient Absorbed Dose in Thorax examination with Rontgen Machine in Radiology Installation of Ibnu Sina Hospital.*
Date of Session : 29 January 2026
Number of Page : 72
Advisor : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
Keyword : *Focus Film Distance, radiation dose, chest radiography, X-ray.*

Chest radiography is one of the most frequently performed diagnostic radiology procedures and involves the use of ionizing radiation in the form of X-rays. The use of this radiation requires dose optimization to ensure that diagnostic benefits are achieved without increasing radiation risk. One technical parameter that influences the magnitude of radiation dose is the Focus Film Distance (FFD). This study aims to analyze the effect of differences in Focus Film Distance (FFD) on radiation dose in chest radiography and to evaluate its compliance with radiation safety standards based on BAPETEN regulations. This research employed a quantitative descriptive method using chest examination data grouped according to two FFD settings, namely 120 cm and 140 cm. Radiation dose was calculated using the exposure constant formula by considering exposure parameters such as tube voltage (kV), current time product (mAs), and FFD. Statistical analysis was performed using a one-sample t-test to evaluate whether the absorbed dose values were below the radiation safety limit. Data validity was strengthened by X-ray unit calibration results. The results show that differences in Focus Film Distance (FFD) affect the radiation dose received by patients in accordance with the principle of decreasing radiation intensity with increasing distance. All absorbed dose values were significantly below the dose limit established by BAPETEN. Therefore, the use of a longer FFD can be considered a safe exposure optimization strategy in chest radiography.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil Alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt. atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pengaruh Variasi Jarak Fokus Film Terhadap Dosis Terserap Pasien Pada Pemeriksaan Thorax dengan Mesin Rontgen di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina”** sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Besar Muhammad Saw., yang menjadi suri teladan bagi seluruh umat manusia serta sebagai penyampai, pengamal, dan penafsir pertama Al-Qur’an.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penyusunan dan penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, serta dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan penghargaan, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian tugas akhir ini. Teristimewa kepada Ayahanda Ulul Azmi dan Ibunda Marsiti atas doa, kasih sayang, serta dukungan moral dan material yang tiada henti selama masa studi penulis, serta kepada adik-adik tercinta Naurah, Rafa, dan Adam atas dukungan dan semangat yang senantiasa mengiringi penyelesaian tugas akhir ini. Selanjutnya, penulis menyampaikan terima kasih khusus kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Nurhayati, S.Si., M.Si., selaku Ketua Program Studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Mulyadi Abdul Wahid, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, sekaligus dosen pembimbing akademik yang telah memberikan masukan, arahan, serta saran kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir.

4. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta koreksi sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Seluruh dosen Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh yang telah memberikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan, serta seluruh staf administrasi yang dengan sabar membantu dan melayani keperluan administrasi penulis selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
6. Kepada pihak Rumah Sakit Ibnu Sina, atas izin dan kerja sama yang diberikan selama proses pengambilan data penelitian, sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Tim penguji tugas akhir atas waktu, masukan, serta ilmu dan pengalaman yang telah diberikan kepada penulis dalam penyempurnaan tugas akhir ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan sejawat Program Studi Teknik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi, khususnya angkatan 2022, atas dukungan dan kebersamaan selama masa studi. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki keterbatasan, sehingga saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaannya.

Banda Aceh, 21 Januari 2026,

Penulis



Dara Ramadhany

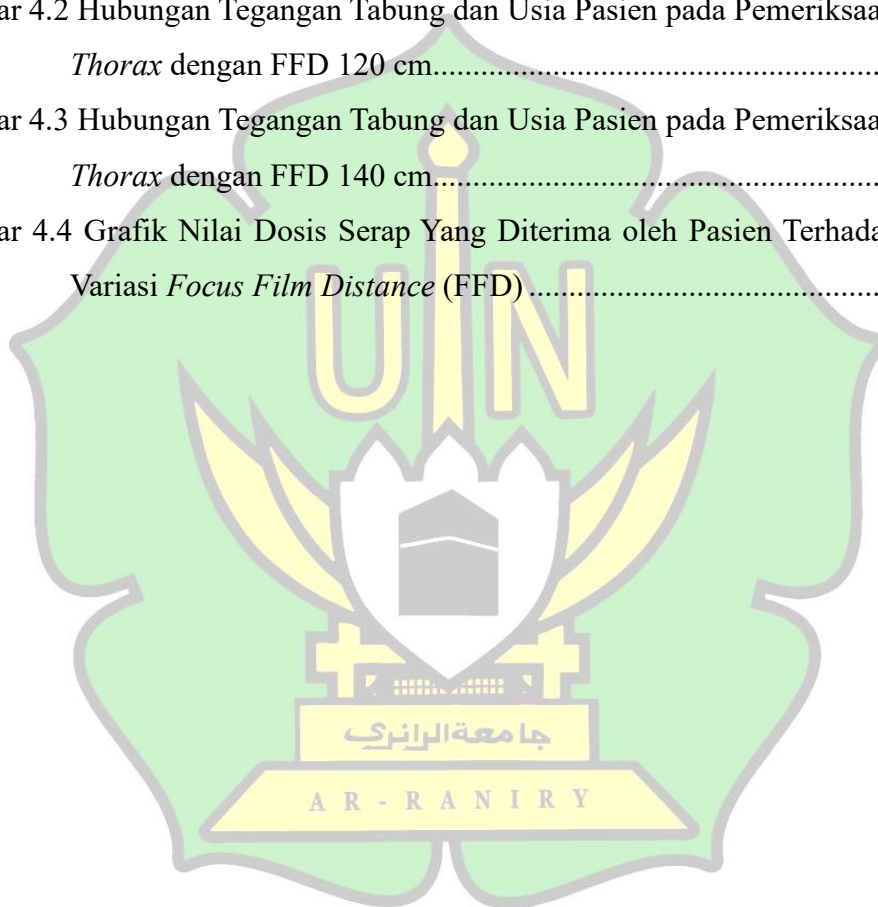
DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Radiasi Pengion	6
2.2 Sinar-X.....	7
2.3 Ruang Radiologi	8
2.4 Faktor Eksposi	9
2.4.1 Tegangan (kV)	10
2.4.2 Arus dan Waktu Eksposi (mAs).....	11
2.4.3 <i>Focus Film Distance</i> (FFD).....	12
2.5 Hukum Invers Kuadrat Jarak (<i>Inverse Square Law</i>).....	14
2.6 Dosis Terserap Pasien	16
2.7 Standar Keselamatan Radiasi (BAPETEN & ICRP).....	17
2.8 Kalibrasi Pesawat Sinar-X	18
2.9 Uji Statistik (Uji t)	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22

3.1 Tahapan Umum Penelitian.....	22
3.2 Rancangan Penelitian.....	25
3.3 Waktu, Lokasi, atau Objek Penelitian.....	25
3.3.1 Objek Penelitian.....	25
3.4 Alat dan bahan	27
3.4 Prosedur Penelitian	28
3.4.1 Pengumpulan data.....	28
3.5 Teknik Analisis Data.....	29
3.5.1 Kalibrasi Pesawat Sinar-X.....	29
3.5.2 Data Perbedaan FFD.....	29
3.5.3 Dosis Konstanta Penyinaran	30
3.5.4 Uji Statistik (Uji t)	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Kalibrasi Pesawat Sinar-X	34
4.2 Hasil Pengelompokan Perbedaan FFD	36
4.3 Perhitungan Dosis Menggunakan Konstanta Penyinaran	40
4.4 Hasil Uji Statistik (Uji t).....	43
BAB V PENUTUP	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	50
LAMPIRAN.....	52

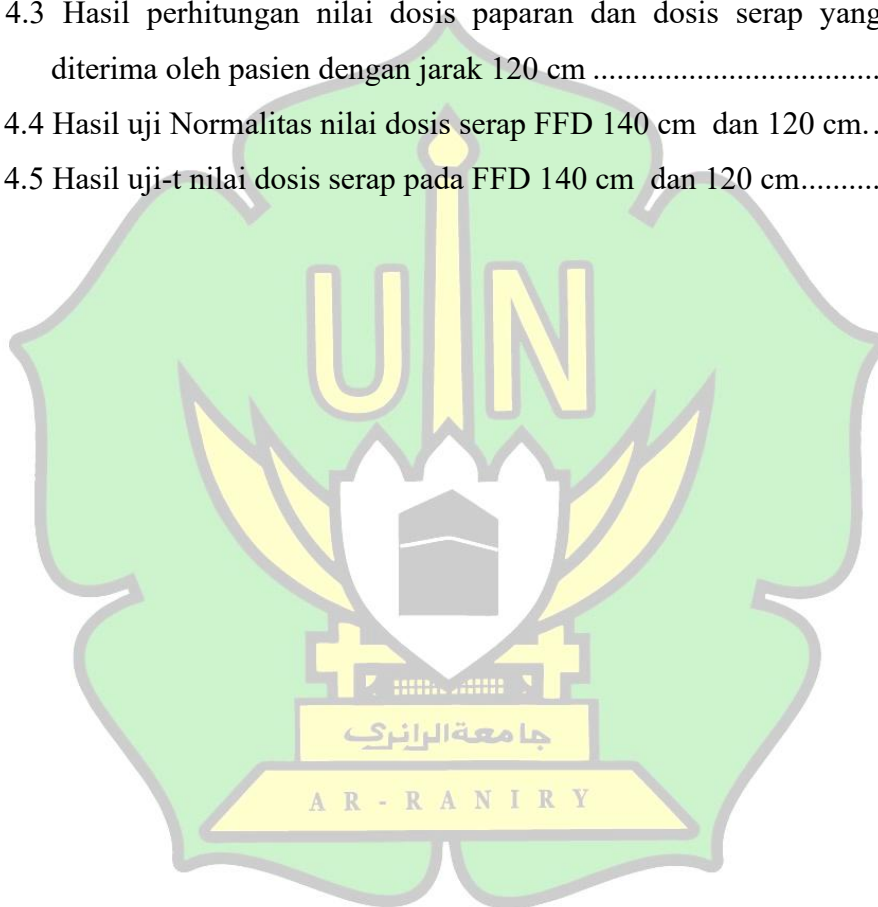
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi <i>Focus Film Distance</i> (FFD) pada Sistem Radiografi.....	13
Gambar 2.2 Ilustrasi Pengaruh Ketebalan Objek terhadap <i>Entrance Surface Dose</i> (ESD)	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	24
Gambar 4.1 Data Kalibrasi Rumah Sakit Ibnu Sina	35
Gambar 4.2 Hubungan Tegangan Tabung dan Usia Pasien pada Pemeriksaan <i>Thorax</i> dengan FFD 120 cm.....	37
Gambar 4.3 Hubungan Tegangan Tabung dan Usia Pasien pada Pemeriksaan <i>Thorax</i> dengan FFD 140 cm.....	38
Gambar 4.4 Grafik Nilai Dosis Serap Yang Diterima oleh Pasien Terhadap Variasi <i>Focus Film Distance</i> (FFD)	46



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Penelitian.....	27
Tabel 4.1 Karakteristik Data Pemeriksaan <i>Thorax</i> Berdasarkan Perbedaan FFD.....	36
Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai dosis paparan dan dosis serap yang diterima oleh pasien dengan jarak 140 cm	41
Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai dosis paparan dan dosis serap yang diterima oleh pasien dengan jarak 120 cm	42
Tabel 4.4 Hasil uji Normalitas nilai dosis serap FFD 140 cm dan 120 cm.....	44
Tabel 4.5 Hasil uji-t nilai dosis serap pada FFD 140 cm dan 120 cm.....	44



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan sinar-X dalam pelayanan radiologi diagnostik merupakan bagian penting dalam proses penegakan diagnosis penyakit. Namun demikian, sinar-X termasuk radiasi pengion yang memiliki potensi menimbulkan efek biologis apabila tidak dikelola dengan baik. Secara umum, berbagai laporan menunjukkan bahwa pengelolaan radiasi yang tidak optimal dapat meningkatkan risiko paparan radiasi terhadap manusia, sehingga penerapan prinsip proteksi dan keselamatan radiasi menjadi aspek yang tidak dapat diabaikan dalam setiap prosedur pemeriksaan berbasis radiasi pengion (Kamisati. et al, 2021).

Radiologi diagnostik merupakan salah satu pelayanan penunjang medis yang paling sering digunakan di fasilitas kesehatan. Di antara berbagai jenis pemeriksaan radiologi, pemeriksaan radiografi *thorax* menempati frekuensi tertinggi karena berperan penting dalam evaluasi penyakit paru, jantung, dan struktur intratorakal lainnya. Tingginya frekuensi pemeriksaan *thorax* menyebabkan potensi akumulasi dosis radiasi pada pasien, sehingga pengendalian dan optimasi dosis menjadi sangat penting. Beberapa studi nasional melaporkan bahwa meskipun dosis pemeriksaan *thorax* relatif rendah, paparan berulang tetap memerlukan perhatian khusus dalam konteks keselamatan radiasi pasien (Juliantara & Diartama, 2023). Besarnya dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan *thorax* dipengaruhi oleh berbagai faktor eksposi, antara lain tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), serta jarak antara sumber sinar-X dan penerima citra yang dikenal sebagai *Focus Film Distance* (FFD). Secara fisika, jarak penyinaran memiliki pengaruh langsung terhadap intensitas radiasi yang mencapai pasien sesuai dengan hukum invers kuadrat jarak, di mana peningkatan jarak antara sumber radiasi dan pasien akan menurunkan intensitas radiasi yang diterima. Dengan demikian, perbedaan penggunaan FFD berpotensi menghasilkan perbedaan dosis radiasi yang signifikan meskipun parameter eksposi lainnya relatif serupa.

Dalam praktik klinis, perbedaan penggunaan FFD pada pemeriksaan *thorax* sering dianggap sebagai pengaturan teknis yang bersifat rutin. Optimasi dosis

umumnya lebih difokuskan pada pengaturan kV dan mAs, sementara pengaruh perubahan FFD terhadap besarnya dosis radiasi pasien jarang dianalisis secara kuantitatif dan terstruktur. Padahal, perubahan jarak penyinaran berpotensi memberikan kontribusi signifikan terhadap penurunan dosis radiasi, terutama pada pemeriksaan dengan frekuensi tinggi seperti radiografi *thorax*. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemanfaatan FFD sebagai parameter pengendali dosis belum sepenuhnya dioptimalkan dalam praktik radiologi diagnostik.

Selain faktor teknik penyinaran, keselamatan radiasi juga ditentukan oleh kondisi teknis pesawat sinar-X yang digunakan. Untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi sesuai standar, diperlukan data hasil kalibrasi sebagai acuan kondisi aktual alat di lapangan. Hasil kalibrasi digunakan untuk memastikan bahwa keluaran radiasi yang dihasilkan sesuai dengan nilai eksposi yang ditetapkan serta berada dalam batas toleransi yang ditentukan oleh Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Tanpa dukungan data kalibrasi yang valid, analisis dosis radiasi berpotensi bias akibat ketidakakuratan kinerja alat, sehingga hasil penelitian menjadi kurang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina merupakan salah satu fasilitas pelayanan kesehatan yang secara rutin melaksanakan pemeriksaan radiologi, termasuk pemeriksaan *thorax*, dengan penerapan lebih dari satu pengaturan *Focus Film Distance*. Berdasarkan hasil observasi awal dan telaah dokumen, tersedia data pemeriksaan *thorax* dengan penggunaan FFD yang berbeda, khususnya pada jarak 120 cm dan 140 cm, serta didukung oleh data hasil kalibrasi pesawat sinar-X. Namun demikian, hingga saat ini belum dilakukan analisis terstruktur yang secara khusus membandingkan pengaruh perbedaan FFD tersebut terhadap dosis terserap pasien dengan mengintegrasikan perhitungan fisika radiasi, analisis statistik, dan evaluasi kesesuaian keluaran alat terhadap standar keselamatan radiasi nasional.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) 120 cm dan 140 cm terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan *thorax* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina. Analisis dilakukan melalui perhitungan dosis menggunakan metode konstanta penyinaran, pengujian statistik terhadap nilai dosis yang diperoleh, serta evaluasi

data hasil kalibrasi pesawat sinar-X berdasarkan ketentuan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan bagaimana perbedaan jarak penyinaran memengaruhi dosis radiasi pasien dan menjadi dasar pertimbangan dalam optimasi teknik pemeriksaan *thorax* yang aman dan sesuai prinsip keselamatan radiasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas peneliti dapat merumuskan beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh jarak *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan *thorax* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina?
2. Berapa besar dosis terserap pasien pada perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) 120 cm dan 140 cm berdasarkan perhitungan konstanta penyinaran?
3. Apakah keluaran radiasi pesawat sinar-X yang digunakan telah memenuhi ketentuan keselamatan radiasi sesuai Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian yang ingin dicapai oleh mahasiswa adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis pengaruh jarak *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan *thorax* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina.
2. Untuk menentukan besarnya dosis terserap pasien pada perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) 120 cm dan 140 cm sebagai dasar evaluasi perubahan jarak penyinaran.
3. Untuk mengevaluasi kesesuaian keluaran radiasi pesawat sinar-X terhadap batas keselamatan radiasi berdasarkan Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020 sebagai validasi keandalan data penelitian.

1.4 Manfaat Penelitian

a. Manfaat Teoretis

1. Memberikan penguatan kajian fisika radiologi mengenai pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax* berdasarkan prinsip hukum invers kuadrat jarak.
2. Menjadi referensi akademik yang menunjukkan penerapan konsep fisika radiasi, khususnya hubungan antara jarak penyinaran dan intensitas radiasi, dalam konteks pemeriksaan radiologi diagnostik.
3. Memberikan dasar teoritis bagi penelitian selanjutnya yang mengkaji optimasi dosis radiasi pasien melalui pengaturan parameter teknis pemeriksaan radiografi.

b. Manfaat Praktis

1. Memberikan dasar pertimbangan teknis bagi radiografer dalam memilih penggunaan FFD yang lebih aman dari sisi dosis radiasi pasien pada pemeriksaan *thorax*.
2. Menjadi bahan evaluasi bagi instalasi radiologi dalam upaya optimasi dosis radiasi pasien dengan memanfaatkan pengaturan jarak penyinaran tanpa menurunkan kualitas citra diagnostik.
3. Mendukung penerapan prinsip keselamatan radiasi dan optimisasi dosis pasien sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku dalam praktik radiologi diagnostik.

1.5 Batasan Penelitian

1. Penelitian difokuskan pada variasi *Focus Film Distance* (FFD) pada pemeriksaan radiografi *thorax*, sementara parameter eksposi lain seperti tegangan tabung (kV) dan arus waktu penyinaran (mAs) yang juga memengaruhi dosis tidak dianalisis sebagai variabel bebas utama, melainkan mengikuti kondisi klinis pasien dan protokol pemeriksaan.
2. Analisis dosis dibatasi pada dosis serap permukaan atau *Entrance Surface Dose* (ESD) yang dihitung berdasarkan paparan radiasi dan faktor konversi,

tanpa mencakup pengukuran dosis organ internal maupun evaluasi risiko biologis lanjutan

3. Data penelitian berasal dari satu unit pesawat sinar-X di satu instalasi radiologi, dengan kondisi alat mengacu pada hasil kalibrasi yang tersedia, sehingga hasil penelitian mencerminkan kondisi operasional di lokasi tersebut dan belum tentu mewakili fasilitas lain dengan karakteristik berbeda.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Pengion

Paparan radiasi merupakan proses ketika energi radiasi mengenai materi atau jaringan tubuh, baik secara sengaja maupun tidak, dan dapat berasal dari sumber internal maupun eksternal (Apte & Bhide, 2024). Dalam instalasi radiologi diagnostik, paparan tersebut umumnya berasal dari sinar-X, yaitu radiasi pengion yang digunakan untuk menghasilkan citra anatomi tubuh manusia. Sifat pengion sinar-X menjadikannya bermanfaat secara medis, tetapi pada saat yang sama berpotensi menimbulkan efek biologis apabila dosis yang diterima pasien tidak dikendalikan dengan baik (Ramadhani, 2023). Radiasi pengion memiliki kemampuan untuk mengionisasi atom atau molekul dalam jaringan sehingga dapat menimbulkan dua jenis efek biologis, yaitu efek deterministik dan efek stokastik (Lowe et al., 2022). Efek deterministik muncul apabila dosis melebihi nilai ambang tertentu dan berkaitan dengan kerusakan jaringan secara langsung, sedangkan efek stokastik bersifat probabilistik dan dapat meningkatkan risiko terjadinya kanker. Oleh karena itu, pengendalian dosis menjadi unsur penting dalam keselamatan radiasi, khususnya pada prosedur radiografi yang melibatkan paparan langsung ke tubuh pasien.

Dalam pemeriksaan radiografi *thorax*, besarnya dosis paparan yang diterima pasien dipengaruhi oleh berbagai faktor eksposi, antara lain tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), serta *Focus Film Distance* (FFD). Perbedaan penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) yang cukup signifikan, khususnya antara jarak yang lebih pendek dan jarak yang lebih panjang, berpengaruh langsung terhadap intensitas sinar-X yang mencapai permukaan tubuh pasien sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak, di mana peningkatan jarak antara sumber radiasi dan pasien akan menurunkan intensitas radiasi dan berpotensi mengurangi dosis yang diterima. Meskipun dosis yang diterima pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax* relatif lebih rendah dibandingkan prosedur radioterapi, tingginya frekuensi pemeriksaan menjadikan akumulasi dosis sebagai isu penting dalam keselamatan radiasi.

Oleh karena itu, pengendalian faktor-faktor yang memengaruhi intensitas radiasi, termasuk pengaturan jarak penyinaran melalui *Focus Film Distance* (FFD), menjadi langkah krusial dalam upaya menekan risiko efek biologis jangka panjang. Pemahaman mengenai sifat radiasi pengion serta mekanisme interaksinya dengan jaringan tubuh menjadi landasan teoritis yang penting untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

2.2 Sinar-X

Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik berenergi tinggi yang dihasilkan dari interaksi elektron berkecepatan tinggi dengan target logam pada anoda tabung rontgen. Proses interaksi ini menghasilkan spektrum sinar-X yang bersifat kontinu maupun karakteristik, yang selanjutnya dipancarkan secara divergen dari titik fokus tabung. Dalam radiologi diagnostik, sinar-X dimanfaatkan untuk menghasilkan citra anatomi tubuh berdasarkan perbedaan atenuasi radiasi oleh jaringan yang memiliki densitas dan nomor atom berbeda (Mayani & Muflihatun, 2017). Perbedaan atenuasi ini memungkinkan visualisasi struktur internal tubuh, khususnya pada pemeriksaan radiografi *thorax* yang melibatkan organ-organ dengan perbedaan densitas yang kontras, seperti paru-paru, tulang, dan jaringan lunak.

Sifat divergensi berkas sinar-X menyebabkan intensitas radiasi yang dipancarkan tidak seragam pada setiap jarak dari sumber, melainkan menurun seiring bertambahnya jarak dari titik fokus tabung. Dalam pemeriksaan radiografi *thorax*, berkas sinar-X diarahkan menuju tubuh pasien dan selanjutnya diterima oleh detektor citra. Jarak antara titik fokus tabung dan pasien menjadi parameter fisika yang berperan langsung dalam menentukan jumlah foton sinar-X yang mencapai permukaan tubuh pasien. Dengan parameter eksposi yang sama, perubahan jarak penyinaran akan menghasilkan perbedaan intensitas radiasi yang signifikan akibat penyebaran berkas pada area yang lebih luas, sehingga berdampak langsung pada dosis radiasi yang diterima pasien.

Dalam konteks ini, *Focus Film Distance* (FFD) memiliki peran khusus. Perbedaan jarak penyinaran antara jarak yang lebih pendek dan jarak yang lebih

panjang akan menghasilkan perbedaan intensitas radiasi secara langsung tanpa harus mengubah kV atau mAs, sehingga FFD relevan dikaji sebagai parameter utama dalam analisis dosis radiasi pasien. Pengaturan eksposur yang sesuai memungkinkan terbentuknya citra diagnostik yang optimal tanpa memberikan dosis berlebih (Bayuadi, 2011). Dalam konteks ini, *Focus Film Distance* (FFD) memiliki peran khusus karena Perbedaan jarak penyinaran yang cukup signifikan antara jarak yang lebih pendek dan jarak yang lebih panjang akan menghasilkan perbedaan intensitas radiasi yang nyata akibat penyebaran berkas sinar-X pada area yang lebih luas.

Secara fisika, pengaruh FFD terhadap intensitas radiasi dijelaskan melalui prinsip hukum invers kuadrat jarak, yang menyatakan bahwa intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber. Peningkatan *Focus Film Distance* (FFD) menyebabkan berkas sinar-X menyebar pada area yang lebih luas, sehingga intensitas radiasi yang mencapai permukaan tubuh pasien menurun secara kuadratis. Penurunan intensitas ini berimplikasi langsung pada berkurangnya dosis radiasi yang diterima pasien, selama faktor eksposi lainnya dijaga tetap. Oleh karena itu, pemahaman mengenai proses pembentukan sinar-X, sifat divergensi berkas, serta keterkaitan antara faktor eksposi dan jarak penyinaran menjadi dasar teoritis yang penting dalam menganalisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

2.3 Ruang Radiologi

Radiologi merupakan cabang kedokteran yang memanfaatkan radiasi pengion, termasuk sinar-X, untuk menghasilkan citra diagnostik yang membantu proses penegakan diagnosis penyakit (Zira et al., 2017). Penggunaan sinar-X dalam radiologi diagnostik menuntut pengaturan faktor eksposi yang tepat agar kualitas citra yang dihasilkan optimal sekaligus memastikan bahwa dosis radiasi yang diterima pasien tetap serendah mungkin sesuai prinsip proteksi radiasi. Pada pemeriksaan radiografi, sinar-X diarahkan langsung ke tubuh pasien sehingga pasien menjadi penerima paparan radiasi utama. Besarnya dosis radiasi yang diterima pasien dipengaruhi oleh beberapa parameter eksposi, antara lain tegangan

tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), serta *Focus Film Distance* (FFD), yang secara langsung menentukan intensitas sinar-X yang mencapai permukaan tubuh pasien. Oleh karena itu, pemahaman mengenai pengaruh pengaturan faktor eksposi, khususnya perbedaan FFD, menjadi aspek penting dalam upaya mengoptimalkan kualitas citra sekaligus menekan dosis radiasi pasien.

Ruang radiologi merupakan lingkungan kerja khusus yang dirancang untuk mendukung penggunaan radiasi pengion secara aman dan terkendali. Tata letak ruang, posisi tabung sinar-X, meja pemeriksaan, serta jarak antara sumber radiasi dan pasien ditentukan berdasarkan pertimbangan keselamatan radiasi, efisiensi pemeriksaan, dan keterbatasan desain instalasi. Dalam praktik klinis, pengaturan jarak penyinaran tidak hanya dipengaruhi oleh prinsip fisika radiasi, tetapi juga oleh kondisi ruang dan karakteristik pasien. Pada pemeriksaan radiografi *thorax*, perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) sering disesuaikan dengan kebutuhan diagnostik dan keterbatasan ruang yang tersedia. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaturan FFD dalam praktik klinis merupakan hasil kompromi antara teori fisika radiasi dan realitas operasional di lapangan. Oleh karena itu, pemahaman mengenai ruang radiologi menjadi penting untuk menempatkan perbedaan FFD dalam konteks yang realistis, sehingga analisis dosis yang dilakukan tidak bersifat teoritis semata, melainkan mencerminkan kondisi penggunaan alat yang sebenarnya.

2.4 Faktor Eksposi

Besarnya dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan radiografi dipengaruhi oleh beberapa faktor eksposi utama, yaitu tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), dan jarak penyinaran (FFD). Tegangan tabung (kV) menentukan energi dan daya tembus berkas sinar-X, sedangkan mAs menentukan jumlah foton sinar-X yang dihasilkan. Peningkatan kV dan mAs akan meningkatkan intensitas radiasi yang dihasilkan oleh tabung sinar-X (Suyatno, 2008). Ketiga faktor eksposi tersebut secara fisika saling berkaitan. Namun, dalam analisis penelitian, masing-masing parameter dapat diperlakukan secara terkontrol untuk meninjau pengaruh dominan dari satu faktor tertentu terhadap dosis radiasi yang diterima pasien.

Dalam penelitian ini, parameter kV dan mAs diposisikan sebagai variabel terkontrol, sedangkan *Focus Film Distance* (FFD) ditetapkan sebagai variabel bebas utama karena jarak penyinaran secara langsung memengaruhi intensitas radiasi berdasarkan prinsip hukum invers kuadrat jarak. Pendekatan ini penting untuk memastikan bahwa hubungan antara *Focus Film Distance* (FFD) dan dosis radiasi dapat dianalisis secara objektif sesuai dengan prinsip fisika radiasi, tanpa bias akibat perubahan faktor eksposi lainnya.

2.4.1 Tegangan (kV)

Pada sistem pencitraan sinar-X, diperlukan tegangan tinggi untuk mempercepat elektron dari katoda menuju anoda sehingga menghasilkan berkas sinar-X. Tegangan tabung (kV) menentukan energi foton sinar-X yang dihasilkan serta memengaruhi daya tembus berkas radiasi terhadap objek pemeriksaan. Pada nilai kV yang rendah, energi foton sinar-X relatif kecil sehingga panjang gelombangnya lebih panjang dan mudah diserap oleh jaringan, yang dikenal sebagai *soft X-ray* dengan daya tembus rendah. Sebaliknya, peningkatan tegangan tabung menghasilkan foton sinar-X berenergi lebih tinggi dengan panjang gelombang lebih pendek, sehingga daya tembus terhadap jaringan menjadi lebih besar (Suyatno, 2008).

Dengan demikian, perubahan nilai kV secara langsung memengaruhi kualitas berkas sinar-X dan kemampuannya menembus objek pemeriksaan. Selain memengaruhi daya tembus, peningkatan nilai kV juga berimplikasi terhadap dosis radiasi yang diterima pasien. Foton berenergi tinggi memiliki kemampuan penetrasi yang lebih besar dan dapat meningkatkan paparan radiasi apabila tidak diimbangi dengan pengaturan faktor eksposi lainnya. Oleh karena itu, dalam praktik radiografi diperlukan pengaturan kV yang tepat agar kualitas citra diagnostik tetap optimal tanpa memberikan dosis radiasi berlebih kepada pasien. Dalam penelitian ini, nilai kV dijaga pada rentang tertentu sesuai dengan praktik pemeriksaan *thorax* dan diposisikan sebagai variabel terkontrol. Pendekatan ini bertujuan agar perbedaan dosis radiasi yang diamati lebih dominan dipengaruhi oleh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD),

sehingga hubungan antara jarak penyinaran dan dosis radiasi dapat dianalisis secara lebih objektif sesuai prinsip fisika radiasi.

2.4.2 Arus dan Waktu Eksposi (mAs)

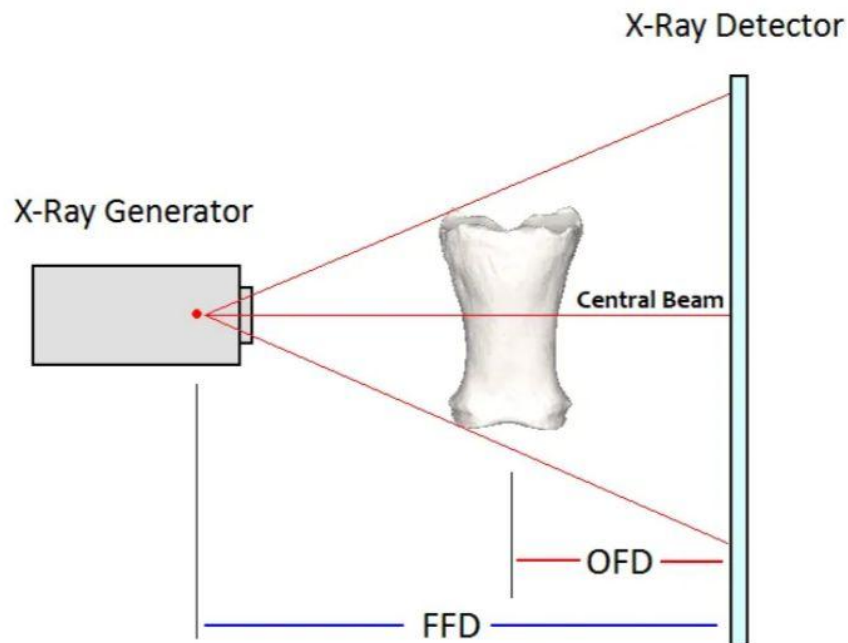
Arus tabung (mA) berpengaruh langsung terhadap intensitas atau kuantitas sinar-X yang dihasilkan. Peningkatan nilai arus tabung akan menambah jumlah elektron yang dipercepat menuju anoda, sehingga jumlah foton sinar-X yang dihasilkan meningkat dan citra radiografi menjadi lebih terang. Sebaliknya, penurunan nilai arus tabung akan mengurangi jumlah foton sinar-X dan menurunkan intensitas berkas radiasi. Dalam praktik radiografi, arus tabung (mA) dikombinasikan dengan waktu penyinaran (s) dalam satu parameter yang dikenal sebagai mAs, yang merepresentasikan total jumlah radiasi yang dikeluarkan selama proses eksposi (Suyatno, 2008). Namun, dalam penelitian ini parameter mAs tidak dijadikan variabel utama, melainkan diperlakukan sebagai parameter yang disesuaikan secara klinis untuk mempertahankan kualitas citra, sehingga pengaruh dominan terhadap perubahan dosis diarahkan pada perbedaan *Focus Film Distance* (FFD). Peningkatan nilai mAs akan meningkatkan jumlah foton sinar-X yang mencapai tubuh pasien, sehingga dosis radiasi yang diterima juga meningkat secara proporsional. Oleh karena itu, pengaturan mAs harus dilakukan secara hati-hati agar kualitas citra diagnostik tetap tercapai tanpa memberikan dosis radiasi berlebih kepada pasien. Selain faktor mAs, jarak antara tabung sinar-X dan objek pemeriksaan atau *Focus Film Distance* (FFD) turut memengaruhi intensitas radiasi yang mencapai pasien sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak, di mana intensitas radiasi meningkat ketika jarak diperkecil dan menurun ketika jarak diperbesar. Hubungan antara mAs dan dosis radiasi yang bersifat linier telah banyak dilaporkan dalam literatur radiografi, di mana peningkatan mAs secara langsung meningkatkan paparan radiasi pasien apabila tidak dikombinasikan dengan strategi optimasi eksposi yang tepat (Bushong, 2017).

Dalam praktik klinis, mAs sering digunakan sebagai parameter kompensasi ketika terjadi perubahan jarak penyinaran atau perbedaan karakteristik pasien. Ketika FFD diperbesar, intensitas radiasi yang mencapai pasien akan menurun akibat penyebaran berkas sinar-X pada area yang lebih luas. Untuk mempertahankan kualitas citra, operator dapat meningkatkan nilai mAs sebagai bentuk kompensasi. Namun, peningkatan mAs tersebut berpotensi meningkatkan dosis radiasi yang diterima pasien. Oleh karena itu, hubungan antara mAs dan FFD menjadi aspek penting dalam analisis dosis radiasi, karena dosis akhir yang diterima pasien pada penelitian ini merupakan hasil interaksi antara penyesuaian mAs secara klinis dan perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD) yang digunakan. Meskipun parameter mAs berpengaruh langsung terhadap dosis radiasi, dalam penelitian ini fokus analisis diarahkan pada *Focus Film Distance* (FFD) sebagai parameter utama yang dibandingkan, sedangkan mAs diperlakukan sebagai bagian dari penyesuaian klinis.

2.4.3 Focus Film Distance (FFD)

Focus Film Distance (FFD) merupakan jarak antara titik fokus tabung sinar-X (*focal spot*) dan penerima citra (*image receptor*). FFD termasuk salah satu faktor eksposi primer dalam radiografi karena berperan langsung dalam menentukan intensitas berkas radiasi yang mencapai pasien, kualitas citra radiografi, serta besarnya dosis radiasi yang diterima (Kurniawan, 2023). Dalam sistem radiografi, sinar-X dipancarkan secara *divergen* dari titik fokus tabung, sehingga perbedaan penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) antara jarak penyinaran yang lebih pendek dan jarak yang lebih panjang akan memengaruhi distribusi intensitas radiasi yang mengenai pasien dan detektor citra. FFD yang lebih pendek menyebabkan berkas sinar-X terkonsentrasi pada area yang lebih kecil, sehingga intensitas radiasi yang mencapai permukaan tubuh pasien menjadi lebih besar dan berpotensi meningkatkan dosis radiasi. Sebaliknya, peningkatan FFD menyebabkan berkas sinar-X menyebar pada area yang lebih luas, sehingga intensitas radiasi yang diterima pasien menurun sesuai dengan prinsip fisika radiasi. Dengan demikian, semakin besar nilai

FFD, semakin kecil intensitas radiasi yang mencapai pasien, selama faktor eksposi lainnya dijaga tetap. Untuk memperjelas definisi dan peran *Focus Film Distance* (FFD) dalam geometri penyinaran radiografi, skema pemeriksaan radiografi ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi *Focus Film Distance* (FFD) pada Sistem Radiografi

Sumber : Diadaptasi dari konsep geometri radiografi

Gambar 2.1. memperlihatkan geometri dasar pemeriksaan radiografi yang terdiri dari sumber sinar-X (*X-ray generator*), objek pemeriksaan (pasien), dan penerima citra (detektor). *Focus Film Distance* (FFD) didefinisikan sebagai jarak antara titik fokus tabung sinar-X dan detektor citra. Perubahan nilai FFD memengaruhi penyebaran berkas sinar-X yang dipancarkan secara divergen dari titik fokus, sehingga berdampak langsung pada intensitas radiasi yang mencapai permukaan tubuh pasien dan detektor. Secara fisika radiologi, pemanjangan FFD menyebabkan penurunan intensitas radiasi sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak, yang berimplikasi pada pengendalian dosis radiasi serta karakteristik pembentukan citra radiografi. Selain memengaruhi dosis radiasi, FFD juga berpengaruh terhadap kualitas citra radiografi, khususnya terkait dengan derajat magnifikasi dan

ketajaman detail (*spatial resolution*). FFD yang lebih panjang cenderung mengurangi distorsi geometrik dan meningkatkan ketajaman citra, meskipun di sisi lain intensitas radiasi yang diterima detektor menjadi lebih rendah (Sari & Fransiska, 2018). Oleh karena itu, FFD memiliki implikasi ganda, yaitu terhadap pengendalian dosis radiasi dan kualitas citra diagnostik. Dalam praktik klinis, penggunaan FFD pada pemeriksaan radiografi *thorax* umumnya berada pada rentang tertentu sesuai dengan standar prosedur pemeriksaan. Namun demikian, perbedaan FFD masih sering terjadi akibat perbedaan desain ruang radiologi, karakteristik pasien, serta kebiasaan operasional di fasilitas pelayanan kesehatan. Kondisi ini menyebabkan pengaruh perbedaan FFD terhadap dosis radiasi pasien tidak selalu dievaluasi secara kuantitatif. Oleh karena itu, *Focus Film Distance* (FFD) dipilih sebagai variabel utama dalam penelitian ini karena perubahan jarak penyinaran secara langsung merepresentasikan prinsip fisika radiasi yang mendasari distribusi intensitas sinar-X dan berpotensi dimanfaatkan sebagai strategi optimasi dosis radiasi pasien pada pemeriksaan *thorax*.

2.5 Hukum Invers Kuadrat Jarak (*Inverse Square Law*)

Hukum invers kuadrat jarak (*Inverse Square Law*) menyatakan bahwa intensitas radiasi yang dipancarkan oleh suatu sumber titik berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara sumber dan titik pengukuran. Dengan demikian, semakin besar jarak dari sumber radiasi, semakin kecil intensitas radiasi yang diterima. Prinsip hukum invers kuadrat jarak pada sinar-X telah dijelaskan secara luas dalam literatur fisika radiologi sebagai dasar hubungan antara jarak penyinaran dan intensitas radiasi (Rongcai et al., n.d.). Prinsip ini berlaku pada sinar-X yang dipancarkan dari tabung rontgen, di mana berkas radiasi menyebar secara divergen dari titik fokus tabung (Mayani & Muflihatun, 2017). Oleh karena itu, perbedaan jarak antara sumber sinar-X dan objek pemeriksaan, khususnya antara jarak yang lebih pendek dan jarak yang lebih panjang akan secara langsung memengaruhi besarnya paparan radiasi yang diterima pasien.

Dalam perhitungan paparan radiasi pada radiografi diagnostik, hubungan antara faktor eksposi dan jarak penyinaran direpresentasikan melalui persamaan konstanta penyinaran, yang digunakan dalam penelitian ini untuk menghitung paparan radiasi berdasarkan parameter eksposi dan jarak penyinaran sebagai berikut:

$$X = \frac{k (I \cdot t)(V)^2}{d^2}$$

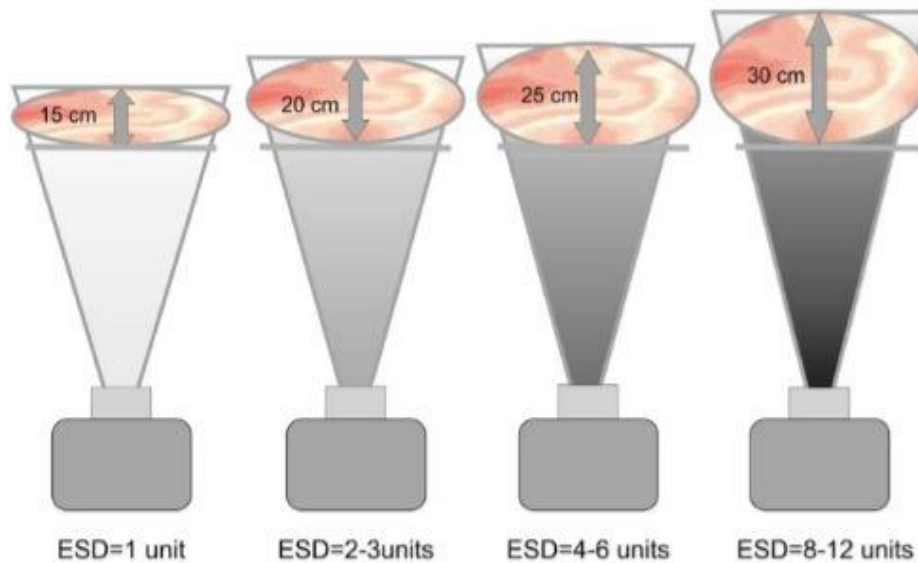
Dalam penelitian ini, parameter kV dan mAs diperlakukan sebagai parameter terkontrol, sedangkan jarak penyinaran atau *Focus Film Distance* (FFD) menjadi parameter utama yang dianalisis pengaruhnya terhadap paparan radiasi. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa paparan radiasi berbanding lurus dengan faktor eksposi, yaitu arus waktu penyinaran (mAs) dan kuadrat tegangan tabung (kV²), tetapi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak penyinaran. Dengan demikian, peningkatan *Focus Film Distance* (FFD) akan menurunkan paparan radiasi yang mencapai permukaan tubuh pasien, sedangkan penurunan FFD akan meningkatkan intensitas radiasi secara signifikan.

Dalam konteks pemeriksaan radiografi *thorax*, perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) dapat menghasilkan perbedaan intensitas radiasi yang signifikan akibat hubungan kuadratis antara jarak dan intensitas radiasi. Penurunan intensitas radiasi yang terjadi tidak bersifat linier, melainkan mengikuti hubungan kuadrat jarak, sehingga perbedaan FFD dapat dimanfaatkan sebagai salah satu strategi pengendalian dosis radiasi pasien tanpa harus mengubah parameter eksposi lainnya secara langsung. Oleh karena itu, hukum invers kuadrat jarak menjadi landasan fisika utama dalam penelitian ini untuk menjelaskan bagaimana perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) memengaruhi paparan dan dosis radiasi pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

2.6 Dosis Terserap Pasien

Dosis terserap pasien merupakan besaran fisika yang menyatakan jumlah energi radiasi yang diserap oleh jaringan tubuh akibat paparan radiasi pengion. Dalam pemeriksaan radiografi diagnostik, besarnya dosis radiasi yang diterima pasien dipengaruhi oleh berbagai faktor eksposi, antara lain tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), *Focus Film Distance* (FFD), filtrasi, luas lapangan penyinaran, serta karakteristik objek yang disinari. Pengendalian dosis pasien menjadi aspek penting dalam penerapan keselamatan radiasi untuk meminimalkan risiko efek biologis akibat paparan radiasi pengion (Lowe et al., 2022).

Dalam praktik radiologi diagnostik, salah satu parameter yang umum digunakan untuk merepresentasikan dosis radiasi yang diterima pasien adalah *Entrance Surface Dose* (ESD), yaitu dosis radiasi yang diserap pada permukaan kulit pasien pada titik masuk berkas sinar-X.



Gambar 2.2 Ilustrasi Pengaruh Ketebalan Objek terhadap *Entrance Surface Dose* (ESD)

Sumber : *Diadaptasi dari ICRP (2007)*

Gambar 2.2 menunjukkan bahwa peningkatan ketebalan objek pemeriksaan menyebabkan atenuasi sinar-X yang lebih besar di dalam jaringan, sehingga diperlukan penyesuaian faktor eksposi untuk mempertahankan kualitas citra diagnostik. Penyesuaian ini berdampak langsung pada peningkatan dosis radiasi yang diterima pada permukaan kulit pasien. Secara fisika radiologi, ilustrasi ini

menegaskan bahwa nilai ESD dipengaruhi oleh interaksi antara karakteristik objek pemeriksaan dan pengaturan parameter eksposi. Selain itu, ESD juga dipengaruhi oleh jarak penyinaran, di mana peningkatan *Focus Film Distance* (FFD) menyebabkan intensitas berkas sinar-X yang mencapai permukaan tubuh menurun sesuai dengan hukum invers kuadrat jarak, sehingga nilai ESD cenderung lebih rendah. Pengendalian ESD merupakan bagian dari prinsip optimisasi proteksi radiasi *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA), yaitu menjaga dosis serendah mungkin tanpa mengurangi kualitas diagnostik citra (ICRP, 2007).

Untuk mengkuantifikasi besarnya dosis terserap pasien secara sistematis, penelitian ini menggunakan pendekatan perhitungan berbasis paparan radiasi yang dikonversi menjadi dosis serapan. Hubungan tersebut dinyatakan melalui persamaan:

$$D = X \times f$$

Faktor konversi f digunakan untuk mengonversi nilai paparan radiasi menjadi dosis terserap dengan mempertimbangkan perbedaan karakteristik penyerapan energi radiasi antara udara dan jaringan tubuh. Meskipun *Entrance Surface Dose* (ESD) tidak sepenuhnya merepresentasikan dosis efektif organ internal, parameter ini tetap relevan untuk menganalisis pengaruh faktor eksposi dan jarak penyinaran terhadap dosis radiasi pada permukaan tubuh pasien. Persamaan tersebut digunakan sebagai dasar teoritis dalam perhitungan dosis terserap pasien pada penelitian radiografi diagnostik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini *Entrance Surface Dose* (ESD) digunakan sebagai indikator evaluasi dosis untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

2.7 Standar Keselamatan Radiasi (BAPETEN & ICRP)

Standar keselamatan radiasi disusun untuk melindungi pasien dan tenaga kesehatan dari potensi efek merugikan radiasi pengion. Dalam kerangka prinsip optimisasi proteksi radiasi *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA), pengendalian dosis pasien dilakukan dengan mengatur parameter teknis pemeriksaan agar paparan radiasi serendah mungkin tanpa mengorbankan kualitas

diagnostik citra, sebagaimana direkomendasikan oleh *International Commission on Radiological Protection (ICRP, 2007)*. Dalam penelitian ini, pengaturan *Focus Film Distance (FFD)* dipilih sebagai parameter teknis yang dianalisis karena secara langsung berkaitan dengan prinsip optimisasi dosis berdasarkan hukum invers kuadrat jarak.

Di Indonesia, pengendalian paparan radiasi pasien dalam radiologi diagnostik diatur melalui Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020, yang menetapkan persyaratan keselamatan radiasi, termasuk ketentuan batas dosis bagi pekerja radiasi dan masyarakat serta persyaratan teknis operasional pesawat sinar-X. Meskipun regulasi tersebut tidak menetapkan batas dosis individual bagi pasien, penerapan prinsip keselamatan radiasi tetap diwajibkan dalam setiap pemeriksaan radiologi diagnostik, sehingga paparan radiasi pasien harus dikendalikan dan dioptimasi (Napitupulu et al., 2023). Dalam penelitian ini, standar keselamatan radiasi digunakan sebagai nilai pembanding dalam analisis statistik untuk mengevaluasi apakah dosis terserap pasien masih berada dalam batas keselamatan yang direkomendasikan. Dengan menjadikan standar keselamatan radiasi sebagai nilai pembanding, hasil perhitungan dosis tidak hanya bersifat numerik, tetapi juga memiliki makna evaluatif dalam konteks proteksi radiasi, khususnya dalam menilai efektivitas pengaturan *Focus Film Distance (FFD)* pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

2.8 Kalibrasi Pesawat Sinar-X

Kalibrasi pesawat sinar-X merupakan proses verifikasi kinerja alat untuk memastikan bahwa parameter eksposi yang ditampilkan pada konsol sesuai dengan keluaran radiasi yang sebenarnya serta memenuhi standar keselamatan radiasi. Kalibrasi diperlukan karena penggunaan pesawat sinar-X yang tidak terkalibrasi dapat menghasilkan keluaran radiasi yang tidak akurat dan menurunkan kualitas citra, khususnya pada sistem radiografi digital. Pada kondisi ideal, ketika berkas radiasi mengenai objek yang homogen, respons detektor seharusnya seragam. Namun dalam praktiknya, bagian tengah detektor sering menerima paparan yang lebih besar sehingga tampak lebih terang dibandingkan bagian tepi. Proses kalibrasi

ini penting dalam penelitian dosis radiasi karena untuk memastikan bahwa keluaran radiasi yang dihasilkan pesawat sinar-X merepresentasikan nilai eksposi yang sebenarnya, sehingga hasil perhitungan dosis tidak bias akibat kesalahan alat. (Suryaningsih & Susanto, 2017).

Selain itu, performa pesawat sinar-X dapat mengalami penurunan akibat penggunaan terus-menerus, seperti terjadinya penyimpangan tegangan tabung, ketidakstabilan arus tabung (mA), penurunan akurasi waktu eksposi, serta perubahan keluaran radiasi per satuan mAs. Oleh karena itu, kalibrasi berkala diperlukan untuk memeriksa akurasi tegangan tabung (kV), linearitas mA, ketepatan waktu penyinaran, dan konsistensi keluaran radiasi. Proses ini umumnya dilakukan menggunakan alat ukur standar, seperti kV meter, mAs meter, dan *radiation dose* meter, guna memastikan bahwa setiap parameter eksposi bekerja dalam batas toleransi yang diizinkan (Bushong, 2017).

Pelaksanaan kalibrasi pesawat sinar-X di Indonesia mengacu pada BAPETEN melalui Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020, yang mewajibkan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dikalibrasi secara berkala untuk menjamin keselamatan radiasi dan kualitas operasional alat. Dengan demikian, data hasil kalibrasi digunakan dalam penelitian ini sebagai dasar validasi kinerja pesawat sinar-X sebelum dilakukan perhitungan dan analisis dosis radiasi pasien. Regulasi ini menegaskan bahwa pesawat sinar-X harus beroperasi dalam batas toleransi yang ditetapkan agar paparan radiasi tetap terkendali dan hasil pemeriksaan dapat dipertanggung jawabkan secara klinis.

2.9 Uji Statistik (Uji t)

Dalam penelitian ini, uji t digunakan sebagai alat statistik parametrik untuk mengevaluasi kepatuhan nilai dosis radiasi pasien terhadap batas keselamatan yang ditetapkan. Uji ini didasarkan pada asumsi bahwa data yang dianalisis berasal dari populasi yang berdistribusi normal dan memiliki ragam yang relatif homogen. Dalam konteks penelitian ilmiah, uji t digunakan untuk membedakan apakah perbedaan yang diamati pada data merupakan akibat dari suatu perlakuan atau hanya disebabkan oleh perbedaan acak (Diez & Barr, 2012).

Secara konseptual, uji t bekerja dengan membandingkan selisih antara nilai rata-rata data dengan perbedaan data di dalam kelompok tersebut. Apabila selisih rata-rata relatif besar dibandingkan dengan perbedaan datanya, maka perbedaan tersebut cenderung dianggap signifikan secara statistik. Hasil pengujian uji t dinyatakan dalam bentuk nilai probabilitas (p-value), yang menunjukkan peluang bahwa perbedaan yang diamati terjadi secara kebetulan. Pada umumnya nilai p-value $< 0,05$ menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diperoleh berbeda secara signifikan dari nilai batas acuan, sedangkan p-value $\geq 0,05$ menunjukkan bahwa dosis masih berada dalam rentang keselamatan yang dapat diterima (Suryaningsih & Susanto, 2017).

Dalam penelitian radiologi diagnostik, uji t sering digunakan untuk menganalisis data dosis atau paparan radiasi, terutama ketika peneliti ingin mengevaluasi dampak perubahan teknik pemeriksaan atau perbedaan faktor eksposi terhadap nilai dosis yang diterima pasien. Penggunaan uji statistik menjadi penting karena nilai dosis radiasi dapat berbeda antar pengukuran akibat fluktuasi alat, kondisi pasien, maupun perbedaan prosedur pemeriksaan. Dengan uji t, peneliti dapat menilai apakah nilai dosis yang diperoleh masih berada dalam batas yang dapat diterima secara statistik dan klinis, bukan sekadar berbeda secara numerik.

Salah satu bentuk uji t adalah uji t satu sampel (*one sample t-test*), yaitu uji yang digunakan untuk membandingkan rata-rata suatu kelompok data dengan satu nilai pembanding tertentu. Nilai pembanding ini biasanya berasal dari standar, batas acuan, atau nilai referensi yang telah ditetapkan sebelumnya. Uji t satu sampel tidak bertujuan untuk membandingkan dua kelompok data, melainkan untuk mengevaluasi apakah rata-rata data berbeda secara signifikan dari nilai acuan tersebut (Diez et al., 2019).

Dalam penelitian ini, uji t satu sampel digunakan untuk mengevaluasi apakah dosis terserap pasien pada masing-masing perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) berada dalam batas keselamatan radiasi yang direkomendasikan. Dengan pendekatan ini, nilai rata-rata dosis pada setiap perbedaan FFD dibandingkan dengan satu nilai batas dosis acuan. Apabila hasil uji menunjukkan p-value $< 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa nilai dosis berbeda secara signifikan dari batas

acuan, sedangkan p-value $\geq 0,05$ menunjukkan bahwa dosis masih berada dalam rentang yang dapat diterima secara statistik.

Penggunaan uji t satu sampel dalam penelitian ini berfungsi sebagai alat validasi kuantitatif terhadap kepatuhan dosis radiasi pasien terhadap standar keselamatan radiasi. Dengan demikian, uji statistik tidak digunakan untuk membandingkan perbedaan dosis antar perbedaan FFD, melainkan untuk memastikan bahwa dosis yang diterima pasien tetap berada dalam kondisi aman sesuai dengan prinsip proteksi radiasi. Pendekatan ini memberikan dasar ilmiah yang objektif dalam mengevaluasi hasil perhitungan dosis serta memperkuat interpretasi penelitian dalam konteks keselamatan radiasi.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

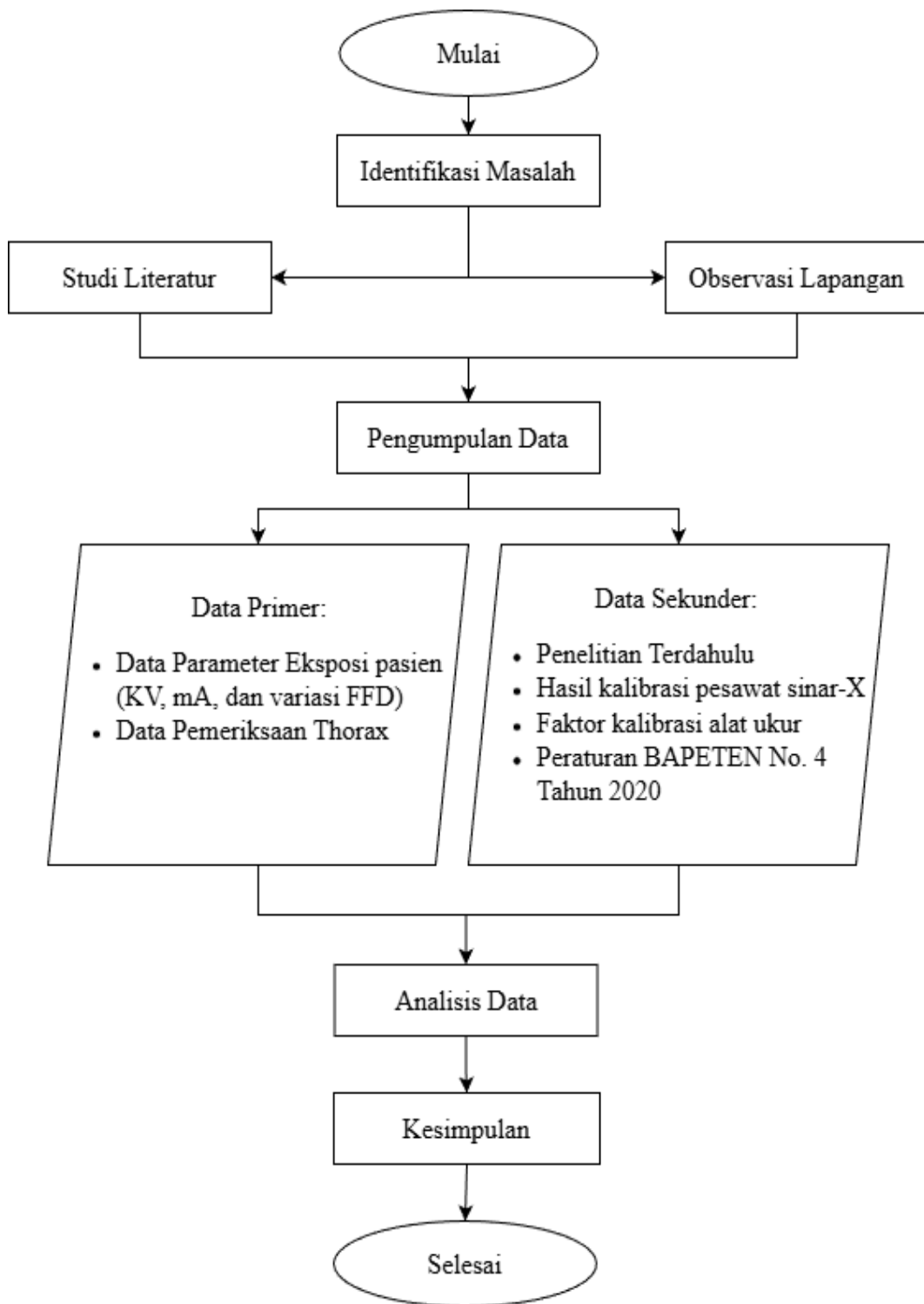
3.1 Tahapan Umum Penelitian

Tahapan umum penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam menganalisis pengaruh perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien serta evaluasi hasil kalibrasi pesawat sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Tahapan identifikasi masalah. Tahapan awal ini dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan terkait perbedaan penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) pada pemeriksaan radiografi *thorax* yang berpotensi memengaruhi dosis terserap pasien, serta pentingnya evaluasi hasil kalibrasi pesawat sinar-X guna memastikan kesesuaian keluaran radiasi dengan standar keselamatan radiasi yang ditetapkan oleh BAPETEN.
2. Tahapan studi literatur. Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari referensi dari jurnal ilmiah, penelitian terdahulu, laporan kalibrasi alat, serta regulasi nasional seperti Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Studi literatur digunakan sebagai dasar teori mengenai dosis radiasi, *Focus Film Distance* (FFD), hukum invers kuadrat jarak, rumus konstanta penyinaran, serta konsep keselamatan dan optimasi dosis radiasi.
3. Tahapan observasi awal. Observasi dilakukan secara langsung di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina untuk mengetahui kondisi pesawat radiografi, prosedur pemeriksaan *thorax*, serta perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD) yang digunakan dalam praktik. Observasi juga mencakup penelaahan data kalibrasi pesawat sinar-X sebagai acuan kondisi aktual keluaran radiasi alat.
4. Tahapan pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan melalui dua sumber utama, yaitu:

- Data primer, berupa data parameter eksposi pemeriksaan tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), dan FFD yang digunakan dalam perhitungan paparan dan dosis terserap pasien.
 - Data sekunder, berupa data hasil kalibrasi pesawat sinar-X di Rumah Sakit Ibnu Sina yang meliputi keluaran radiasi, ketepatan tegangan tabung, serta parameter teknis pendukung lainnya.
5. Tahapan perhitungan dan analisis. Data dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan menghitung paparan dan dosis terserap pasien berdasarkan perbedaan FFD menggunakan rumus konstanta penyinaran dan prinsip hukum invers kuadrat jarak. Selanjutnya, hasil perhitungan dosis dievaluasi menggunakan uji statistik (uji t satu sampel) untuk menilai kepatuhan dosis terhadap nilai acuan keselamatan radiasi. Selain itu, hasil keluaran radiasi berdasarkan data kalibrasi dibandingkan dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020.
 6. Tahapan evaluasi dan interpretasi. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien, menilai apakah dosis yang diperoleh masih berada dalam koridor keselamatan radiasi, serta memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi dalam kondisi aman berdasarkan hasil kalibrasi dan standar regulasi yang berlaku.
 7. Tahapan penarikan kesimpulan. Tahap akhir penelitian dilakukan untuk menarik kesimpulan mengenai hubungan antara perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) dan dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*, kesesuaian keluaran pesawat sinar-X dengan standar keselamatan radiasi, serta memberikan rekomendasi terkait optimasi teknik eksposi dalam praktik pemeriksaan *thorax* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina.

Penelitian ini akan dilakukan melalui beberapa tahapan, dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk menganalisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan *thorax*. Dosis radiasi dihitung menggunakan rumus konstanta penyinaran dengan mempertimbangkan parameter tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), dan jarak penyinaran berdasarkan prinsip hukum invers kuadrat jarak. Data yang dianalisis berasal dari pesawat sinar-X yang telah dinyatakan laik operasi melalui kalibrasi resmi, sehingga parameter eksposi yang digunakan bersifat valid. Hasil perhitungan dosis selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan nilai acuan dosis sebagai pembanding evaluatif untuk menilai tingkat dosis radiasi pasien, sedangkan aspek keselamatan radiasi dievaluasi berdasarkan kepatuhan terhadap prinsip proteksi dan persyaratan keselamatan radiasi sebagaimana diatur dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020.

3.3 Waktu, Lokasi, atau Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 1 September 2025 dengan lokasi objek penelitian di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina, Indrapuri, Aceh Besar. Selama pelaksanaan penelitian, peneliti melakukan pengumpulan data, analisis, serta penyusunan laporan penelitian. Pelaksanaan penelitian ini telah memperoleh izin resmi dari pihak Rumah Sakit Ibnu Sina. Waktu penelitian dipilih berdasarkan ketersediaan data dan akses ke ruang sinar-X di Rumah Sakit Ibnu Sina, serta untuk memastikan bahwa data yang diperoleh bersifat aktual dan relevan.

3.3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini tidak hanya berfokus pada perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD) dan perhitungan dosis terserap pasien, tetapi juga pada keandalan pesawat sinar-X yang digunakan sebagai sumber radiasi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan tiga objek utama, yaitu:

1. Pesawat Sinar-X yang Telah Terkalibrasi

Pesawat sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina menjadi objek penting karena seluruh perhitungan dosis dalam penelitian ini

bergantung pada keakuratan keluaran radiasi alat. Data hasil kalibrasi resmi digunakan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi sesuai persyaratan keselamatan dan uji kinerja alat, sehingga parameter eksposi seperti tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), dan keluaran radiasi yang digunakan dalam perhitungan dosis berasal dari alat yang valid dan terverifikasi. Dengan demikian, analisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien didasarkan pada performa alat yang telah memenuhi standar keselamatan radiasi.

2. Data Pemeriksaan *Thorax* (kV, mAs, dan FFD)

Data teknis pemeriksaan radiografi *thorax* yang meliputi tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), dan *Focus Film Distance* (FFD) digunakan sebagai objek analisis dalam perhitungan dosis terserap pasien. Dalam penelitian ini, perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) yang dianalisis dibatasi pada dua jarak, yaitu 120 cm dan 140 cm. Nilai kV dijaga dalam rentang yang relatif seragam sesuai praktik pemeriksaan *thorax*, sedangkan nilai mAs disesuaikan secara klinis dengan karakteristik pasien untuk mempertahankan kualitas citra diagnostik. Oleh karena itu, meskipun terdapat variasi nilai mAs, parameter tersebut tidak dijadikan fokus analisis utama, melainkan diperlakukan sebagai bagian dari kondisi klinis aktual. Dengan pendekatan ini, pengaruh dominan terhadap perbedaan dosis yang diamati diarahkan pada perbedaan *Focus Film Distance* (FFD).

3. Dokumen Standar Keselamatan BAPETEN

Dokumen hasil kalibrasi pesawat sinar-X dievaluasi berdasarkan persyaratan keselamatan radiasi dan ketentuan uji kesesuaian pesawat sinar-X sebagaimana diatur dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Perbandingan ini digunakan untuk menilai apakah pesawat sinar-X yang menjadi sumber data penelitian beroperasi dalam kondisi aman dan layak digunakan sesuai persyaratan keselamatan radiasi. Evaluasi hasil kalibrasi ini berfungsi sebagai dasar validasi bahwa perhitungan dosis berdasarkan perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) dilakukan pada alat yang memenuhi

standar keselamatan radiasi, sehingga hasil analisis dosis yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

3.4 Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1.	laptop	LAPTOP- C3B0E895, LENOVO Ideapad S340-14API, System Type x64- based PC	Sebagai perangkat keras (<i>hardware</i>) digunakan untuk pengolahan data dan simulasi.
2.	Microsoft word	Microsoft office word 2019	Sebagai perangkat lunak dalam menyusun tugas akhir.
3.	Excel	Microsoft Excel 2019	Digunakan untuk perhitungan konstanta penyinaran, analisis perbedaan FFD.
4.	Data kalibrasi Pesawat Sinar-X	Laporan resmi kalibrasi Instalasi Radiologi RS Ibnu Sina	Digunakan sebagai acuan untuk memvalidasi output radiasi pesawat sinar-X dan membandingkannya dengan standar BAPETEN.
5.	Data Pemeriksaan <i>Thorax</i>	Data kV, mAs, dan FFD pasien pemeriksaan <i>thorax</i>	Digunakan sebagai data utama dalam perhitungan dosis berdasarkan perbedaan FFD.
1.	SPSS	IBM SPSS <i>Statistics</i> 25	Digunakan untuk melakukan analisis statistik uji t satu sampel.

6.	Peraturan dan Standar Acuan	BAPETEN No. 4 Tahun 2020 dan <i>ICRP Publication</i> 103 (2007)	Digunakan sebagai acuan dalam evaluasi batas dosis radiasi dan standar keselamatan radiasi.
7.	Alat Tulis dan Dokumentasi	Buku catatan, kamera, dan arsip data RS	Digunakan untuk mencatat data hasil observasi, dokumentasi posisi titik pengukuran, serta bukti pendukung penelitian.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data primer dan data sekunder diperlukan dalam perencanaan. Data-data tersebut meliputi:

1. Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari data pemeriksaan *thorax* pasien di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina, Kabupaten Aceh Besar. Data yang dikumpulkan mencakup parameter eksposi yang digunakan pada setiap pemeriksaan, yaitu tegangan tabung (kV), arus waktu penyinaran (mAs), serta perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) yang digunakan dalam praktik pemeriksaan, yaitu 120 cm dan 140 cm. Data ini menjadi dasar utama dalam perhitungan dosis terserap pasien menggunakan rumus konstanta penyinaran. Penggunaan data primer memungkinkan analisis pengaruh perbedaan FFD terhadap dosis dilakukan secara objektif berdasarkan kondisi penggunaan alat yang sesungguhnya.

2. Data Sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari dokumen hasil kalibrasi pesawat sinar-X yang digunakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina. Data kalibrasi tersebut memuat informasi teknis pesawat sinar-X, meliputi akurasi tegangan tabung (kV), linearitas mA dan mAs, keluaran radiasi, serta deviasi pengukuran terhadap standar pengujian. Data ini

digunakan untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X beroperasi dalam kondisi terkalibrasi dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi, sehingga nilai parameter eksposi yang digunakan pada data primer dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Selain itu, data sekunder juga mencakup Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020, pedoman ICRP Publication 103 (2007), serta penelitian terdahulu yang relevan, yang digunakan sebagai acuan regulatif dan konseptual dalam penerapan prinsip proteksi dan optimisasi dosis radiasi, serta sebagai dasar justifikasi analisis penelitian.

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Kalibrasi Pesawat Sinar-X

Tahap ini merupakan proses verifikasi penting yang sering terabaikan dalam penelitian tingkat dasar. Seluruh perhitungan dosis radiasi tidak memiliki validitas ilmiah apabila pesawat sinar-X yang digunakan tidak memiliki kinerja dan akurasi yang terjamin. Oleh karena itu, data hasil kalibrasi yang meliputi ketepatan tegangan tabung (kV), linearitas mAs, serta konsistensi keluaran radiasi digunakan sebagai acuan utama untuk menilai keandalan parameter eksposi pada data primer. Evaluasi hasil kalibrasi dilakukan dengan mengacu pada persyaratan keselamatan radiasi dan kriteria kelulusan uji kinerja pesawat sinar-X sebagaimana diatur dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Apabila hasil kalibrasi menunjukkan bahwa pesawat sinar-X tidak memenuhi persyaratan tersebut, maka data eksposi yang dihasilkan dinyatakan tidak layak digunakan dalam analisis dosis. Dengan memasukkan evaluasi kalibrasi ke dalam tahapan penelitian, dapat dipastikan bahwa hubungan antara perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) dan dosis terserap pasien yang diperoleh tidak dipengaruhi oleh ketidakakuratan alat, melainkan mencerminkan fenomena fisika radiasi yang sesuai dengan prinsip distribusi intensitas sinar-X.

3.5.2 Data Perbedaan FFD

Data pemeriksaan *thorax* dikelompokkan berdasarkan perbedaan *Focus Film Distance* (FFD), yaitu 120 cm dan 140 cm. Pengelompokan ini dilakukan

untuk memisahkan data berdasarkan jarak penyinaran sehingga perhitungan dosis dan analisis statistik dapat dilakukan secara terstruktur pada masing-masing kelompok FFD. *Focus Film Distance* (FFD) dipilih sebagai variabel utama karena jarak penyinaran merupakan faktor fisika yang secara langsung memengaruhi intensitas radiasi sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak. Pengelompokan data ini menjadi dasar dalam proses perhitungan dosis dan evaluasi statistik selanjutnya, tanpa dimaksudkan untuk melakukan uji perbedaan langsung antar kelompok FFD.

3.5.3 Dosis Konstanta Penyinaran

Pada tahap ini, data eksposi dihitung menggunakan rumus konstanta penyinaran untuk memperoleh nilai paparan dan dosis terserap pasien. Perhitungan ini tidak hanya bertujuan untuk menghasilkan nilai dosis secara numerik, tetapi juga untuk memverifikasi kesesuaian pola perubahan dosis dengan prinsip fisika radiasi ketika *Focus Film Distance* (FFD) diperpanjang. Rumus konstanta penyinaran dipilih karena secara langsung merepresentasikan hubungan antara keluaran radiasi pesawat sinar-X, parameter eksposi, dan geometri penyinaran. Secara fisika, peningkatan tegangan tabung (kV) dan arus waktu penyinaran (mAs) akan meningkatkan dosis radiasi, sedangkan peningkatan *Focus Film Distance* (FFD) akan menurunkan intensitas radiasi yang mencapai pasien sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak. Oleh karena itu, perhitungan dosis pada tahap ini menjadi dasar untuk mengevaluasi apakah perubahan dosis yang diperoleh selaras dengan teori distribusi intensitas radiasi. Rumus yang digunakan dinyatakan sebagai berikut:

$$X = \frac{k (I \cdot t)(V)^2}{d^2}$$

keterangan:

X = paparan radiasi pada jarak d (mR)

K = konstanta penyinaran pesawat sinar-X (mR·cm²/mAs·kV²)

I = arus tabung (mA)

t = waktu penyinaran (s)

V = tegangan tabung (kV)

d = jarak antara sumber sinar-X dan permukaan objek (cm)

Konstanta penyinaran (K) pada persamaan paparan radiasi merupakan konstanta empiris yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara keluaran tabung sinar-X dan parameter eksposi dalam perhitungan paparan radiasi berbasis pendekatan fisika radiologi. Dalam penelitian ini digunakan nilai K adalah $15 \text{ R}\cdot\text{cm}^2/(\text{mAs}\cdot\text{kV}^2)$, sebagaimana direkomendasikan dalam literatur fisika radiologi klasik (Meredith & Massey, 1977). Sebagai konstanta pendekatan untuk estimasi paparan sinar-X diagnostik. Penggunaan konstanta ini tidak dimaksudkan untuk merepresentasikan nilai keluaran absolut pesawat sinar-X yang digunakan, melainkan untuk memastikan bahwa hubungan antara faktor eksposi dan jarak penyinaran mengikuti kecenderungan teoritis sesuai dengan hukum invers kuadrat jarak. Nilai paparan radiasi yang diperoleh selanjutnya dikonversi menjadi dosis terserap pada permukaan kulit pasien atau Entrance Surface Dose (ESD) menggunakan faktor konversi yang sesuai, sehingga hasil perhitungan dapat digunakan untuk menganalisis perbedaan dosis secara relatif antar variasi *Focus Film Distance* (FFD):

$$D = X \times f$$

keterangan:

D = Dosis terserap pasien atau *Entrance Surface Dose* (mGy)

X = paparan radiasi hasil perhitungan konstanta penyinaran (mR)

f = Faktor konversi dari paparan radiasi menjadi dosis terserap (mGy/mR)

Faktor konversi (*f*) merupakan faktor koreksi yang digunakan untuk mengonversi paparan radiasi di udara menjadi dosis terserap pada permukaan kulit pasien atau *Entrance Surface Dose* (ESD). Secara fisika, nilai *f* merepresentasikan perbedaan karakteristik penyerapan energi radiasi antara udara dan jaringan tubuh manusia. Dalam penelitian radiografi diagnostik, konversi dari paparan ke dosis serap umumnya dilakukan menggunakan faktor konversi yang direkomendasikan dalam literatur dosimetri radiografi klasik. Oleh karena itu, dalam penelitian ini

digunakan nilai f adalah 0,00876 mGy/mR, dan diperlakukan sebagai konstanta. Penggunaan nilai ini memungkinkan konversi paparan radiasi menjadi dosis terserap yang bermakna secara dosimetrik dan klinis, sehingga hasil perhitungan ESD dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*.

Tahap konversi dari paparan radiasi ke dosis terserap merupakan langkah esensial karena besaran paparan yang dinyatakan di udara belum secara langsung merepresentasikan dosis yang diterima oleh jaringan pasien. Melalui proses konversi ini, nilai yang diperoleh memiliki makna dosimetrik dan relevansi klinis, sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) terhadap dosis terserap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax*. Data pemeriksaan *thorax* dalam penelitian ini diperoleh dari praktik klinis di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina. Oleh karena itu, parameter eksposi seperti arus waktu penyinaran (mAs) tidak diseragamkan secara ketat, melainkan disesuaikan dengan karakteristik pasien sesuai prosedur klinis yang berlaku. Penyesuaian ini dilakukan untuk memastikan kualitas citra diagnostik tetap optimal sekaligus menerapkan prinsip proteksi radiasi. Dengan demikian, analisis pengaruh perbedaan FFD terhadap dosis terserap dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa variasi dosis yang diamati merupakan hasil interaksi antara perubahan jarak penyinaran dan penyesuaian parameter eksposi dalam kondisi klinis nyata.

Nilai dosis terserap pasien yang diperoleh dari perhitungan selanjutnya digunakan sebagai data dalam analisis statistik. Dalam penelitian ini, nilai 0,4 mGy digunakan sebagai nilai acuan evaluatif dalam uji statistik, yang diadopsi dari rujukan dan praktik dalam literatur radiologi diagnostik pemeriksaan *thorax*. Nilai ini tidak dimaksudkan sebagai batas dosis individual pasien, melainkan sebagai pembanding untuk menilai apakah dosis yang diperoleh masih berada dalam rentang yang wajar dan selaras dengan prinsip optimisasi dosis radiasi. Analisis statistik dilakukan menggunakan uji t satu sampel (*one sample t-test*)

untuk mengevaluasi apakah rata-rata dosis terserap pasien berada secara signifikan di bawah nilai acuan tersebut

3.5.4 Uji Statistik (Uji t)

Perhitungan dosis secara teoritis belum cukup untuk memastikan bahwa nilai dosis yang diperoleh berada dalam rentang yang dapat diterima secara dosimetrik. Oleh karena itu, dilakukan analisis statistik menggunakan uji t satu sampel (*one sample t-test*) untuk mengevaluasi apakah dosis terserap pasien pada masing-masing perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) berada secara signifikan di bawah nilai acuan evaluatif yang digunakan dalam penelitian ini. Dalam pengujian statistik, nilai rata-rata dosis terserap pada setiap kelompok FFD dibandingkan dengan nilai acuan sebesar 0,4 mGy, yang diadopsi dari rujukan dan praktik dalam literatur radiologi diagnostik pemeriksaan *thorax*. Nilai ini tidak dimaksudkan sebagai batas dosis individual pasien yang ditetapkan oleh BAPETEN, melainkan sebagai pembanding untuk menilai kewajaran dan optimisasi dosis radiasi. Apabila hasil uji menunjukkan nilai signifikansi $p < 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata dosis terserap pasien berbeda secara signifikan dari nilai acuan. Apabila nilai rata-rata dosis berada di bawah nilai acuan, maka dosis yang diterima pasien dinyatakan berada dalam rentang yang wajar dan selaras dengan prinsip optimisasi dosis radiasi. Analisis statistik ini digunakan untuk memberikan dasar kuantitatif dalam mengevaluasi keamanan dosis pada masing-masing perbedaan FFD, sehingga pengaruh variasi jarak penyinaran dapat dianalisis secara objektif dan terukur.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kalibrasi Pesawat Sinar-X

Untuk menjamin keabsahan seluruh hasil perhitungan dosis dan analisis statistik, dilakukan evaluasi terhadap hasil kalibrasi pesawat sinar-X yang digunakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina. Data kalibrasi diperoleh dari laporan resmi pengukuran yang dilakukan oleh PT Fujifilm Indonesia sebagai pihak yang berkompeten dalam pengujian dan verifikasi kinerja pesawat sinar-X. Evaluasi ini menjadi tahap krusial karena seluruh analisis dosis hanya memiliki makna fisika dan dosimetrik apabila pesawat sinar-X beroperasi dengan keluaran radiasi yang akurat dan stabil.

Berdasarkan hasil kalibrasi, parameter utama pesawat sinar-X, meliputi ketepatan tegangan tabung (kV), linearitas arus waktu penyinaran (mAs), serta konsistensi keluaran radiasi, menunjukkan kesesuaian terhadap persyaratan kinerja dan keselamatan pesawat sinar-X sebagaimana diatur dalam Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Tidak ditemukannya deviasi yang signifikan pada parameter tersebut mengindikasikan bahwa variasi keluaran radiasi akibat ketidakstabilan alat dapat diabaikan dalam analisis ini. Secara fisika radiologi, kondisi alat yang terkalibrasi dan stabil memastikan bahwa perubahan dosis terserap pasien yang diamati pada penelitian ini tidak dipengaruhi oleh fluktuasi kinerja pesawat sinar-X, melainkan merefleksikan pengaruh perubahan geometri penyinaran, khususnya perbedaan Focus Film Distance (FFD). Dengan demikian, hasil analisis dosis yang diperoleh dapat diinterpretasikan sebagai konsekuensi langsung dari perubahan intensitas radiasi akibat jarak penyinaran sesuai dengan prinsip hukum invers kuadrat jarak, bukan sebagai artefak dari kesalahan atau penyimpangan alat. Data hasil kalibrasi pesawat sinar-X Rumah Sakit Ibnu Sina selanjutnya disajikan pada Gambar 4.1 sebagai dasar validasi teknis penelitian ini.

Data Alat Ukur		
Nama Alat Ukur	:	Surveymeter Radiasi
Pabrikan	:	Raysafe
Model	:	X2 Survey
No. Seri	:	281461
Tanggal Kalibrasi Ulang	:	23 Juni 2023
Target	:	Air

Kesimpulan :

Mengacu pada Perka Bapeten no.4 th 2013, hasil pengukuran paparan yang dilakukan masih dibawah nilai yang di izinkan (aman)

Gambar 4.1 Data Kalibrasi Rumah Sakit Ibnu Sina

Selain evaluasi kinerja pesawat, laporan kalibrasi juga mencakup hasil pengukuran tingkat paparan radiasi di area sekitar ruang radiologi, seperti kaca operator, panel dinding, pintu, dan koridor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa paparan radiasi di area-area tersebut berada pada tingkat yang rendah dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi untuk area kerja dan area publik sesuai dengan ketentuan regulasi BAPETEN. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem proteksi radiasi yang diterapkan, termasuk penggunaan dinding dan pintu berlapis timbal, telah berfungsi secara efektif dalam meredam radiasi hambur dan membatasi penyebaran radiasi ke lingkungan sekitar ruang radiologi.

Hasil kalibrasi ini berperan sebagai validasi teknis fundamental terhadap keandalan seluruh data penelitian. Dengan pesawat sinar-X yang beroperasi secara stabil dan memenuhi persyaratan keselamatan radiasi, variasi dosis yang diperoleh dalam penelitian ini dapat dikaitkan secara langsung dengan pengaturan *Focus Film Distance* (FFD) dan penyesuaian parameter eksposi dalam praktik klinis, bukan akibat penyimpangan atau ketidakstabilan keluaran alat. Dari sudut pandang fisika radiologi, kondisi ini memastikan bahwa hubungan antara perbedaan FFD dan perubahan dosis yang diamati merupakan konsekuensi nyata dari perubahan intensitas radiasi akibat jarak penyinaran, sebagaimana dijelaskan oleh prinsip hukum invers kuadrat jarak. Jika dikaitkan dengan hasil perhitungan dosis dan analisis statistik, seluruh nilai dosis terserap pasien pada masing-masing variasi FFD berada di bawah nilai acuan evaluatif yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai acuan tersebut tidak dimaksudkan sebagai batas dosis individual yang

ditetapkan oleh BAPETEN, melainkan sebagai pembanding kuantitatif untuk menilai kewajaran dan optimisasi dosis radiasi berdasarkan rujukan dalam literatur radiologi diagnostik dan konsep *Diagnostic Reference Level* (DRL). Dengan demikian, integrasi hasil kalibrasi, perhitungan dosis, dan analisis statistik menunjukkan bahwa pengaturan jarak penyinaran melalui pemanjangan FFD, yang disertai penyesuaian parameter eksposi secara klinis, dapat dimanfaatkan sebagai strategi optimisasi dosis radiasi pada pemeriksaan *thorax* tanpa mengabaikan keselamatan pasien maupun mutu diagnostik citra.

4.2 Hasil Pengelompokan Perbedaan FFD

Penelitian ini mengelompokkan data pemeriksaan *thorax* berdasarkan dua perbedaan jarak *Focus Film Distance* (FFD), yaitu 120 cm dan 140 cm. Pengelompokan ini bertujuan untuk mengamati kecenderungan perubahan dosis radiasi akibat perbedaan jarak penyinaran, sesuai dengan teori fisika radiasi yang menyatakan bahwa intensitas radiasi menurun seiring bertambahnya jarak antara sumber sinar-X dan objek berdasarkan hukum invers kuadrat jarak.

Tabel 4.1 Karakteristik Data Pemeriksaan *Thorax* Berdasarkan Perbedaan FFD

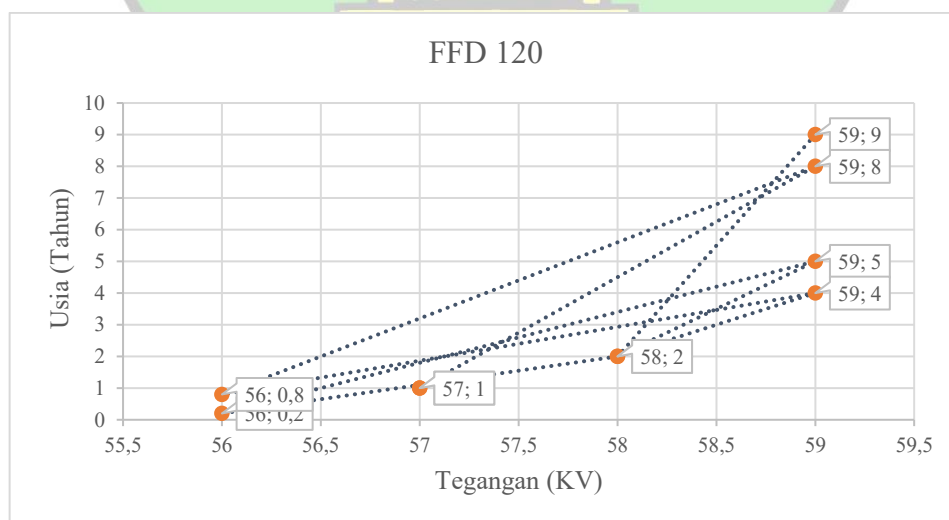
No	FFD (cm)	Usia (tahun)	kV	mAs	Jumlah Data
1	140	≥ 20	65-70	6,25	10
2	120	0-9	56-59	5,25	10

Berdasarkan Tabel 4.1, terlihat bahwa perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) berkaitan erat dengan karakteristik pasien dan penyesuaian parameter eksposi yang digunakan dalam praktik klinis. Kelompok FFD 120 cm umumnya digunakan pada pasien usia lebih muda dengan nilai kV dan mAs yang lebih rendah, sedangkan kelompok FFD 140 cm digunakan pada pasien usia dewasa dengan kV dan mAs yang lebih tinggi. Perbedaan ini mencerminkan prinsip dasar radiografi klinis, di mana parameter eksposi disesuaikan dengan ukuran dan ketebalan objek untuk menjaga kualitas citra diagnostik.

Dari sudut pandang fisika radiologi, peningkatan FFD dari 120 cm menjadi 140 cm secara teoritis akan menurunkan intensitas radiasi yang mencapai permukaan

pasien akibat penyebaran berkas sinar-X pada area yang lebih luas. Penurunan intensitas ini merupakan konsekuensi langsung dari hukum invers kuadrat jarak. Namun, dalam praktik klinis, penurunan intensitas akibat pemanjangan FFD tersebut dikompensasi sebagian dengan peningkatan nilai kV dan mAs agar kualitas citra tetap optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diterima pasien merupakan hasil interaksi antara efek penurunan intensitas akibat jarak dan penyesuaian parameter eksposi secara klinis. Dengan demikian, perbedaan nilai kV dan mAs antar kelompok FFD tidak diperlakukan sebagai variabel pengganggu, melainkan sebagai bagian dari kondisi klinis nyata yang justru memperkuat relevansi penelitian ini. Analisis selanjutnya terhadap dosis terserap pasien bertujuan untuk menilai apakah, dalam kondisi penyesuaian eksposi tersebut, pemanjangan FFD tetap memberikan kecenderungan penurunan dosis sesuai prinsip fisika radiasi dan optimisasi proteksi radiasi.

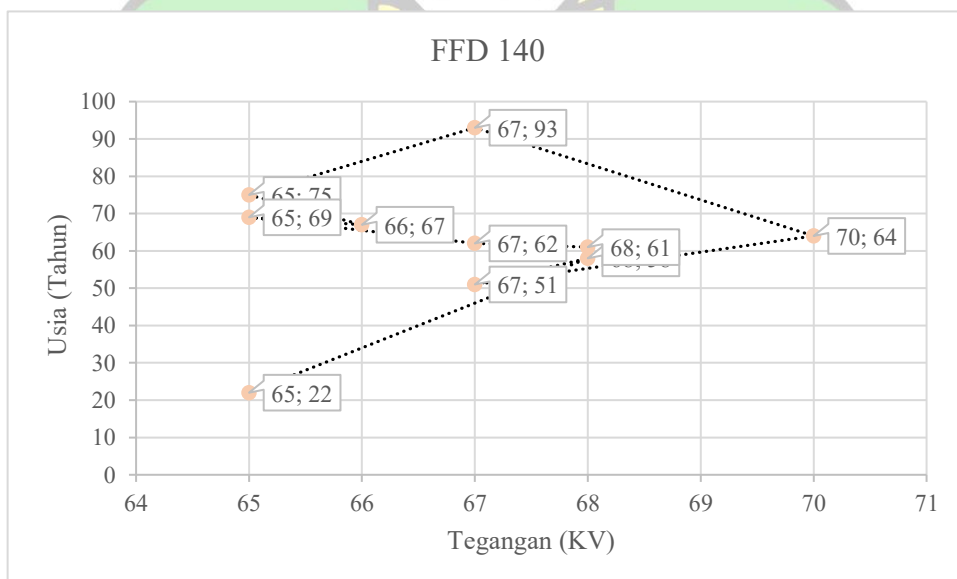
Untuk memperjelas hubungan antara parameter eksposi, karakteristik pasien, dan perbedaan *Focus Film Distance* (FFD), hasil pengelompokan data divisualisasikan dalam bentuk grafik. Visualisasi ini digunakan bukan hanya untuk menunjukkan variasi nilai parameter, tetapi juga untuk menafsirkan bagaimana penyesuaian eksposi dalam praktik klinis berinteraksi dengan perubahan jarak penyinaran dan berpotensi memengaruhi dosis radiasi yang diterima pasien, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hubungan Tegangan Tabung (kV) dan Usia Pasien pada Pemeriksaan Thorax dengan FFD 120 cm

Berdasarkan Gambar 4.2, terlihat adanya kecenderungan peningkatan nilai tegangan tabung (kV) seiring dengan bertambahnya usia pasien pada penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) 120 cm. Pasien usia lebih muda umumnya menggunakan nilai kV yang lebih rendah, sedangkan pasien dengan usia lebih tinggi memerlukan peningkatan kV. Pola ini mencerminkan prinsip dasar radiografi klinis, di mana peningkatan usia berkorelasi dengan bertambahnya ukuran dan ketebalan tubuh, sehingga dibutuhkan energi sinar-X yang lebih besar untuk mencapai penetrasi yang memadai.

Ditinjau dari aspek fisika radiologi, penggunaan FFD 120 cm menghasilkan intensitas radiasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan penggunaan FFD yang lebih panjang. Kondisi ini memungkinkan penggunaan nilai kV dan mAs yang relatif lebih rendah, khususnya pada pasien anak, sehingga dosis radiasi yang diterima pasien dapat dikendalikan. Grafik ini menunjukkan bahwa pengaturan eksposi pada FFD 120 cm tidak dilakukan secara seragam, melainkan disesuaikan secara adaptif berdasarkan karakteristik pasien untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan penetrasi citra dan pengendalian dosis radiasi. Dengan demikian, meskipun jarak penyinaran relatif lebih pendek, dosis tetap dapat dikendalikan melalui pemilihan parameter eksposi yang tepat.



Gambar 4.3 Hubungan Tegangan Tabung (kV) dan Usia Pasien pada Pemeriksaan *Thorax* dengan FFD 140 cm

Jika dibandingkan dengan Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 menunjukkan bahwa penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) 140 cm secara umum diikuti oleh nilai tegangan tabung (kV) yang lebih tinggi. Perbedaan ini dipengaruhi oleh peningkatan jarak penyinaran serta karakteristik pasien yang pada umumnya merupakan pasien dewasa dengan ukuran tubuh lebih besar. Secara fisika, pemanjangan FFD menyebabkan penurunan intensitas radiasi yang mencapai permukaan pasien akibat penyebaran berkas sinar-X, sehingga diperlukan peningkatan energi foton untuk mempertahankan kualitas citra diagnostik.

Peningkatan nilai kV pada FFD 140 cm merupakan bentuk kompensasi teknis terhadap penurunan intensitas radiasi akibat bertambahnya jarak penyinaran. Namun demikian, peningkatan energi sinar-X tersebut tidak serta-merta meningkatkan dosis radiasi secara tidak terkendali, karena efek penurunan intensitas akibat jarak bekerja secara kuadratis sesuai dengan hukum invers kuadrat jarak. Dengan demikian, meskipun nilai kV pada FFD 140 cm lebih tinggi dibandingkan FFD 120 cm, penurunan intensitas radiasi akibat jarak tetap berkontribusi dalam menekan dosis yang diterima pasien. Grafik ini menunjukkan bahwa penyesuaian kV dilakukan secara sistematis dan proporsional, sehingga peningkatan FFD tetap berpotensi memberikan keuntungan dosimetrik tanpa mengorbankan kualitas citra diagnostik.

Secara keseluruhan, visualisasi hubungan antara tegangan tabung (kV), usia pasien, dan perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) menunjukkan bahwa variasi parameter eksposi dalam penelitian ini tidak bersifat acak, melainkan mengikuti prinsip klinis dan fisika radiologi yang saling berkaitan. Perbedaan nilai kV yang digunakan pada masing-masing FFD merepresentasikan upaya mempertahankan kualitas citra diagnostik di tengah perubahan geometri penyinaran dan karakteristik pasien. Grafik-grafik ini menjadi landasan penting bagi analisis dosis pada subbab berikutnya, karena menunjukkan bahwa nilai dosis terserap pasien merupakan hasil interaksi antara penurunan intensitas radiasi akibat pemanjangan jarak penyinaran dan penyesuaian parameter eksposi secara klinis. Dengan demikian, perbedaan dosis yang diperoleh tidak hanya mencerminkan efek perubahan *Focus Film*

Distance (FFD), tetapi juga menggambarkan penerapan prinsip optimisasi dosis radiasi dalam praktik pemeriksaan *thorax*.

4.3 Perhitungan Dosis Menggunakan Konstanta Penyinaran

Perhitungan dosis radiasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan rumus konstanta penyinaran yang mempertimbangkan parameter tegangan tabung (kV), arus waktu (mAs), serta jarak *Focus Film Distance* (FFD). Pendekatan ini dipilih karena mampu merepresentasikan hubungan fisika antara keluaran radiasi pesawat sinar-X dan geometri penyinaran secara teoritis, sehingga sesuai digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan jarak terhadap dosis radiasi pasien. Secara umum, hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan *Focus Film Distance* (FFD) diikuti oleh penurunan dosis radiasi yang diterima pasien. Kelompok FFD 120 cm menghasilkan nilai dosis rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan kelompok FFD 140 cm. Pola ini selaras dengan hukum invers kuadrat jarak, yang menyatakan bahwa intensitas radiasi menurun secara kuadratis seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Dengan demikian, pemanjangan jarak penyinaran berkontribusi langsung terhadap penurunan intensitas radiasi yang mencapai permukaan tubuh pasien.

Perhitungan dosis diawali dengan menentukan nilai paparan radiasi menggunakan rumus konstanta penyinaran sebagai berikut:

$$X = \frac{k(I \cdot t)(V)^2}{d^2}$$

Selanjutnya, nilai paparan radiasi yang diperoleh dikonversi menjadi dosis terserap permukaan pasien *Entrance Surface Dose* (ESD) menggunakan persamaan:

$$D = X \times f$$

di mana D merupakan dosis terserap pasien (mGy), X adalah nilai paparan radiasi hasil perhitungan konstanta penyinaran, dan f merupakan faktor konversi dari paparan radiasi menjadi dosis terserap yang bergantung pada energi sinar-X.

Tahapan konversi ini penting karena nilai paparan radiasi di udara belum secara langsung merepresentasikan energi radiasi yang diserap oleh jaringan tubuh pasien.

Perhitungan dosis dilakukan terhadap seluruh data pasien pada masing-masing kelompok FFD, yaitu 120 cm dan 140 cm, sehingga diperoleh distribusi nilai dosis yang representatif terhadap kondisi klinis yang sebenarnya. Hasil perhitungan dosis terserap pasien selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisis kecenderungan perbedaan dosis antar perbedaan FFD serta menjadi dasar dalam evaluasi statistik pada tahap berikutnya.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai dosis paparan dan dosis serap yang diterima oleh pasien dengan jarak 140 cm

No	kV	mAs	FFD (cm)	Dosis Paparan (mR)	Dosis Serap (mGy)
1	65	6,25	140	20,2090	0,1772
2	68	6,25	140	22,1170	0,1940
3	67	6,25	140	21,4720	0,1883
4	70	6,25	140	23,4380	0,2056
5	67	6,25	140	21,4720	0,1883
6	65	6,25	140	20,2090	0,1772
7	66	6,25	140	20,8360	0,1827
8	65	6,25	140	20,2090	0,1772
9	67	6,25	140	21,4720	0,1883
10	68	6,25	140	22,1170	0,1940

Hasil perhitungan dosis pada kelompok *Focus Film Distance* (FFD) 140 cm disajikan pada Tabel 4.2. Pada kelompok ini, nilai dosis terserap pasien berada pada rentang 0,1772 sampai 0,2056 mGy, dengan nilai rata-rata sebesar 0,1874 mGy. Variasi dosis dalam kelompok ini relatif kecil karena nilai mAs dan FFD dijaga konstan, sehingga perubahan dosis terutama dipengaruhi oleh variasi nilai tegangan tabung (kV). Secara fisika radiologi, peningkatan nilai kV menyebabkan peningkatan energi dan kuantitas foton sinar-X, yang berkontribusi langsung terhadap kenaikan dosis radiasi. Meskipun FFD 140 cm secara teoritis menurunkan intensitas radiasi akibat efek jarak, hasil ini menunjukkan bahwa pada jarak yang

lebih panjang, peningkatan kV sebagai kompensasi teknis tetap memberikan kontribusi terhadap dosis terserap pasien. Hal ini menegaskan bahwa pada FFD yang lebih panjang, dosis tidak hanya ditentukan oleh jarak penyinaran, tetapi juga oleh strategi penyesuaian parameter eksposi yang diterapkan untuk menjaga kualitas citra diagnostik.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai dosis paparan dan dosis serap yang diterima oleh pasien dengan jarak 120 cm

No	kV	mAs	FFD (cm)	Dosis Paparan (mR)	Dosis Serap (mGy)
1	59	5,25	120	19,0370	0,1669
2	58	5,25	120	18,3970	0,1613
3	56	5,25	120	17,1500	0,1504
4	59	5,25	120	19,0370	0,1669
5	58	5,25	120	18,3970	0,1613
6	59	5,25	120	19,0370	0,1669
7	56	5,25	120	17,1500	0,1504
8	59	5,25	120	19,0370	0,1669
9	57	5,25	120	17,7680	0,1558
10	57	5,25	120	17,7680	0,1558

Pada kelompok FFD 120 cm yang disajikan pada Tabel 4.3, diperoleh nilai dosis terserap pasien pada rentang 0,1504 sampai 0,1669 mGy, dengan nilai rata-rata sebesar 0,1613 mGy. Secara teoritis, penggunaan FFD yang lebih pendek seharusnya menghasilkan intensitas radiasi yang lebih tinggi dan berpotensi meningkatkan dosis. Namun, hasil perhitungan menunjukkan bahwa dosis pada kelompok ini justru lebih rendah dibandingkan kelompok FFD 140 cm.

Kondisi tersebut disebabkan oleh penyesuaian parameter eksposi yang signifikan, khususnya penggunaan nilai kV dan mAs yang lebih rendah, karena kelompok ini didominasi oleh pasien anak dan bayi. Penurunan nilai kV dan mAs ini merupakan penerapan prinsip proteksi radiasi untuk membatasi dosis radiasi pada pasien dengan ukuran tubuh lebih kecil dan radiosensitivitas yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh jarak penyinaran terhadap dosis tidak

berdiri sendiri, melainkan bekerja bersamaan dengan pengaturan parameter eksposi yang disesuaikan dengan karakteristik pasien.

Berdasarkan perbandingan kedua kelompok, terlihat bahwa meskipun secara teoritis peningkatan FFD cenderung menurunkan dosis radiasi, nilai dosis terserap yang diperoleh dalam praktik klinis merupakan hasil interaksi antara jarak penyinaran dan penyesuaian parameter eksposi. Pada FFD 140 cm, penurunan intensitas akibat jarak dikompensasi oleh peningkatan nilai kV, sehingga dosis yang dihasilkan dapat lebih tinggi dibandingkan FFD 120 cm yang menggunakan parameter eksposi lebih rendah. Meskipun demikian, jika ditinjau dari kecenderungan fisika radiasi, peningkatan FFD tetap memberikan keuntungan dosimetrik karena memungkinkan distribusi radiasi yang lebih merata dan potensi pengendalian dosis melalui optimisasi parameter eksposi. Dengan demikian, hasil perhitungan dosis menggunakan konstanta penyinaran tidak hanya mendukung teori fisika radiasi, tetapi juga menggambarkan kondisi klinis yang realistis, di mana optimisasi dosis dicapai melalui kombinasi pengaturan jarak penyinaran dan penyesuaian faktor eksposi.

4.4 Hasil Uji Statistik (Uji t)

Untuk mengevaluasi apakah dosis serap yang diterima pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax* masih berada dalam kondisi yang aman, dilakukan analisis statistik menggunakan uji t satu sampel (*one sample t-test*) dengan nilai pembanding sebesar 0,4 mGy. Nilai ini digunakan sebagai nilai acuan evaluatif berbasis konsep *Diagnostic Reference Level* (DRL) untuk menilai kewajaran dosis radiasi dalam praktik radiologi diagnostik. Penggunaan nilai acuan ini bertujuan memberikan kerangka evaluasi kuantitatif apakah dosis yang dihasilkan masih selaras dengan prinsip optimisasi dosis radiasi. Sebelum dilakukan uji t satu sampel, uji normalitas data terlebih dahulu dilakukan. Tahapan ini penting karena uji t merupakan uji statistik parametrik yang mensyaratkan bahwa data yang dianalisis berasal dari populasi yang berdistribusi normal. Apabila asumsi normalitas tidak terpenuhi, maka penggunaan uji t menjadi tidak valid secara statistik dan berpotensi menghasilkan kesimpulan yang keliru. Oleh karena itu, uji normalitas dilakukan

sebagai langkah verifikasi awal untuk memastikan bahwa metode statistik yang digunakan sesuai dengan karakteristik data.

Uji normalitas dilakukan menggunakan metode Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk, dengan pertimbangan bahwa jumlah data pada masing-masing kelompok relatif kecil ($n < 50$). Kriteria pengambilan keputusan pada uji normalitas adalah nilai signifikansi (Sig.) $> 0,05$ yang menunjukkan bahwa data berdistribusi normal. Hasil uji normalitas dosis serap pasien pada kelompok FFD 120 cm dan 140 cm disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4 Hasil uji Normalitas nilai dosis serap pada FFD 140 cm dan 120 cm

	Tests of Normality					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
FFD140cm	,164	10	,200*	,903	10	,237
FFD120cm	,237	10	,119	,841	10	,046

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan hasil uji normalitas pada Tabel 4.5, nilai signifikansi Kolmogorov–Smirnov dan Shapiro–Wilk untuk data dosis serap pasien pada masing-masing perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) menunjukkan bahwa secara umum data dapat dianggap mendekati distribusi normal. Dengan terpenuhinya asumsi normalitas ini, maka uji t satu sampel dapat digunakan secara sah untuk menganalisis data dosis serap pasien.

Tabel 4.5 Hasil uji-t nilai dosis serap pada FFD 140 cm dan 120 cm

	One-Sample Test						
	Test Value = 0.4						
	t	df	Significance		Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
		One-Sided p	Two-Sided p		Lower	Upper	
FFD 140cm	-73,451	9	<,001	<,001	-,2127200	-,219271	-,206169
FFD 120cm	-111,949	9	<,001	<,001	-,2397400	-,244584	-,234896

Setelah asumsi normalitas terpenuhi, analisis dilanjutkan menggunakan uji t satu sampel (*one sample t-test*). Uji ini digunakan untuk mengevaluasi apakah rata-

rata dosis serap pasien pada masing-masing perbedaan FFD berada di bawah atau melebihi nilai acuan 0,4 mGy. Uji statistik ini tidak bertujuan untuk membandingkan dosis antar perbedaan FFD, melainkan sebagai alat evaluasi keselamatan radiasi untuk menilai kepatuhan dosis terhadap nilai acuan yang digunakan.

Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) dirumuskan sebagai:

- H_0 : rata-rata dosis serap pasien $\leq 0,4$ mGy
- H_1 : rata-rata dosis serap pasien $> 0,4$ mGy

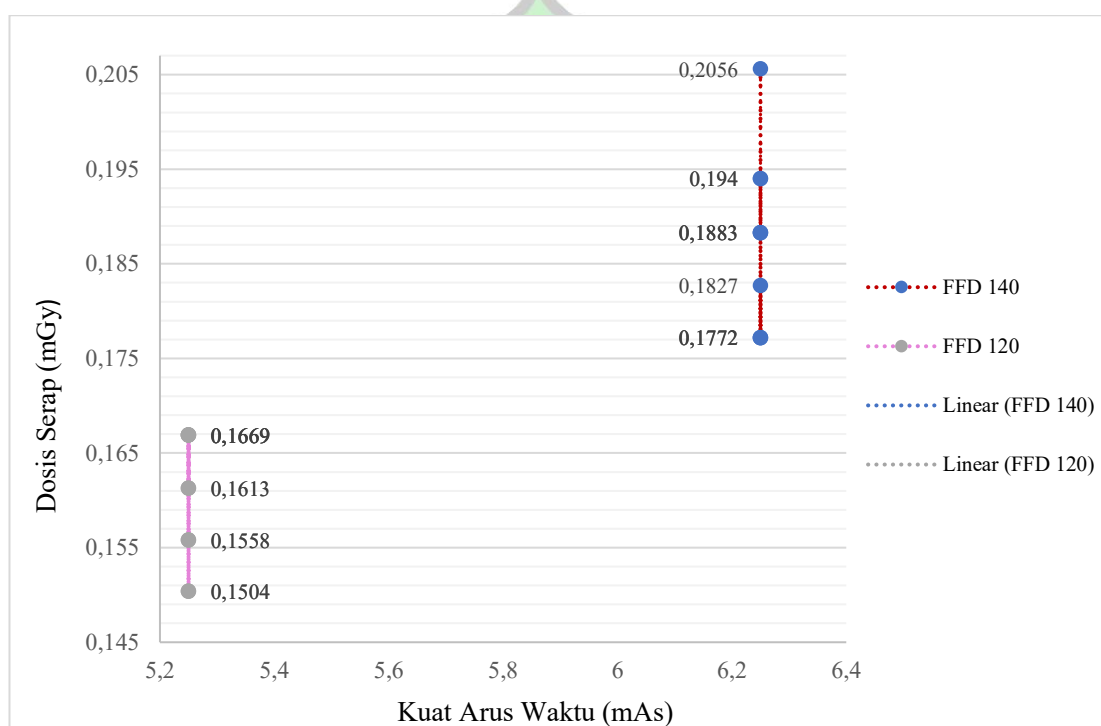
Dengan pendekatan ini, hasil uji t satu sampel memberikan dasar kuantitatif untuk menilai apakah dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan *thorax* masih berada dalam rentang yang wajar dan selaras dengan prinsip optimisasi proteksi radiasi, berdasarkan nilai acuan evaluatif yang digunakan dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil pengujian statistik, seluruh kelompok *Focus Film Distance* (FFD) yang dianalisis menunjukkan nilai t_{hitung} bernilai negatif dengan nilai signifikansi ($p-value$) $< 0,05$. Nilai t_{hitung} yang bernilai negatif mengindikasikan bahwa rata-rata dosis serap pasien lebih kecil dibandingkan nilai acuan 0,4 mGy. Hal ini diperkuat oleh nilai *mean difference* yang seluruhnya bernilai negatif, yang secara kuantitatif menunjukkan bahwa selisih antara rata-rata dosis dan nilai acuan berada pada sisi bawah nilai pembanding. Selain itu, seluruh rentang *confidence interval* 95% berada sepenuhnya pada sisi negatif dan tidak melintasi nilai nol.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa secara statistik terdapat tingkat keyakinan yang kuat bahwa rata-rata dosis serap pasien tidak melebihi nilai acuan dosis. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_1) ditolak. Hasil ini menegaskan bahwa dosis radiasi yang diterima pasien pada masing-masing perbedaan FFD berada dalam rentang aman secara evaluatif dan sesuai dengan prinsip optimisasi dosis radiasi dalam radiologi diagnostik.

Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa pengaturan *Focus Film Distance* (FFD) dan penyesuaian parameter eksposi yang diterapkan dalam pemeriksaan *thorax* telah mampu menjaga dosis serap pasien tetap rendah dan terkendali. Secara statistik, seluruh variasi FFD yang dianalisis dapat dinyatakan memenuhi kriteria

kewajaran dosis dari sudut pandang proteksi radiasi, karena tidak menghasilkan dosis yang melampaui nilai acuan evaluatif yang digunakan.

Untuk memperjelas distribusi dosis serap dan hubungannya dengan parameter eksposi, hasil perhitungan dosis juga divisualisasikan dalam bentuk grafik sebar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5. Grafik tersebut memperlihatkan hubungan antara arus waktu penyinaran (mAs) dan dosis serap pasien pada masing-masing perbedaan FFD, yaitu 120 cm dan 140 cm, dengan penggunaan simbol dan garis tren yang berbeda untuk memudahkan interpretasi.



Gambar 4.4. Grafik Nilai Dosis Serap Yang Diterima oleh Pasien Terhadap Perbedaan *Focus Film Distance* (FFD)

Berdasarkan Gambar 4.5, terlihat bahwa kelompok *Focus Film Distance* (FFD) 140 cm cenderung menghasilkan nilai dosis serap yang lebih tinggi dibandingkan kelompok FFD 120 cm. Kondisi ini tidak disebabkan oleh jarak penyinaran semata, melainkan berkaitan erat dengan penyesuaian parameter eksposi, khususnya peningkatan nilai arus waktu penyinaran (mAs) yang digunakan pada pasien dewasa untuk mempertahankan kualitas citra diagnostik. Sebaliknya, kelompok FFD 120 cm menunjukkan nilai dosis serap yang lebih rendah, sejalan dengan

penggunaan parameter eksposi yang lebih kecil, terutama pada pasien anak dan bayi. Dari sudut pandang fisika radiologi, grafik ini menunjukkan bahwa dosis serap tidak ditentukan oleh *Focus Film Distance* (FFD) secara tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi antara geometri penyinaran dan faktor eksposi. Meskipun pemanjangan FFD secara teoritis menurunkan intensitas radiasi sesuai hukum invers kuadrat jarak, efek tersebut dalam praktik klinis dapat dikompensasi oleh peningkatan mAs untuk menjaga kecukupan paparan pada detektor. Hal ini tercermin pada grafik, di mana peningkatan nilai mAs diikuti oleh peningkatan dosis serap pada masing-masing kelompok FFD.

Garis tren linier pada setiap kelompok FFD menunjukkan hubungan yang konsisten antara mAs dan dosis serap, yang selaras dengan prinsip dasar fisika radiasi bahwa jumlah foton sinar-X berbanding lurus dengan dosis yang dihasilkan. Pola sebaran data ini menegaskan bahwa variasi dosis yang diamati bukan merupakan anomali pengukuran, melainkan konsekuensi logis dari pengaturan eksposi dalam kondisi klinis nyata. Secara keseluruhan, integrasi antara visualisasi grafik dan hasil uji *one sample t-test* menunjukkan bahwa seluruh nilai dosis serap pasien berada di bawah nilai acuan evaluatif 0,4 mGy yang digunakan dalam penelitian ini. Nilai acuan tersebut berfungsi sebagai pembanding berbasis *Diagnostic Reference Level* (DRL) untuk menilai kewajaran dan optimisasi dosis, bukan sebagai batas dosis individual yang ditetapkan secara regulatif. Dengan demikian, grafik ini memperkuat hasil analisis statistik bahwa praktik pemeriksaan radiografi *thorax* yang dianalisis telah menerapkan prinsip optimisasi dosis radiasi, di mana penyesuaian FFD dan parameter eksposi dilakukan secara terkontrol tanpa menghasilkan dosis yang berlebihan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perbedaan *Focus Film Distance* (FFD) memengaruhi kecenderungan dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan radiografi thorax. Peningkatan FFD dari 120 cm menjadi 140 cm secara fisika menurunkan intensitas radiasi sesuai hukum invers kuadrat jarak. Namun, dosis akhir yang diterima pasien merupakan hasil interaksi antara jarak penyinaran, penyesuaian parameter eksposi (kV dan mAs), serta karakteristik pasien dalam praktik klinis.
2. Hasil perhitungan dosis menggunakan metode konstanta penyinaran dan evaluasi statistik *one sample t-test* menunjukkan bahwa seluruh dosis serap pasien pada FFD 120 cm dan 140 cm berada secara signifikan di bawah nilai acuan evaluatif 0,4 mGy. Nilai acuan ini digunakan sebagai pembanding berbasis *Diagnostic Reference Level* (DRL) dan bukan sebagai batas dosis individual pasien, sehingga hasil penelitian menunjukkan bahwa pemeriksaan *thorax* telah memenuhi prinsip optimisasi proteksi radiasi.
3. Hasil kalibrasi pesawat sinar-X menunjukkan bahwa kinerja alat berada dalam kondisi layak operasi sesuai persyaratan teknis Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2020. Dengan demikian, hasil perhitungan dosis dan analisis statistik yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara teknis dan mencerminkan kondisi operasional pesawat sinar-X yang sebenarnya.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, dosis serap pasien pada pemeriksaan radiografi *thorax* telah berada di bawah nilai acuan berbasis *Diagnostic Reference Level* (DRL), sehingga memenuhi aspek keselamatan radiasi. Namun, kondisi ini belum sepenuhnya merepresentasikan optimasi dosis terbaik sesuai prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) karena belum disertai evaluasi kualitas citra. Oleh karena itu, disarankan penggunaan *Focus Film Distance* (FFD) yang lebih panjang sebagai strategi pengendalian dosis, selama mutu diagnostik tetap terjaga, serta penyesuaian parameter eksposi (kV dan mAs) berdasarkan karakteristik

pasien. Penelitian selanjutnya perlu menambahkan evaluasi kualitas citra dan analisis komparatif antar FFD untuk memastikan optimasi dosis yang lebih komprehensif.



DAFTAR PUSTAKA

- Apte, K., & Bhide, S. (2024). Basics of radiation. *Advanced Radiation Shielding Materials: Radiation and Radiological Protection*, 1–23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95387-0.00013-3>.
- Bushong. (2017). Master Course Syllabus Course Name: RADR 2309 Radiographic Imaging Equipment. *Elsevier Health Sciences*.
- Diez, D. M., & Barr, C. D. (2012). OpenIntro Statistics Second Edition. <Http://Www.Openintro.Org/Stat/Textbook.Php>, 251.
- ICRP. (2007). ICRP PUBLICATION 103 The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Radiation Physics and Chemistry*, 188(24), 1–337.
- Juliantara, I. P. E., & Diartama, A. A. A. (2023). *THORAX*. 7, 16325–16330.
- Kamisati. et al. (2021). *HUBUNGAN PAPARAN SINAR-X DENGAN JUMLAH LIMFOSIT PADA RADIOGRAFER DI RUMAH SAKIT UMUM DAERAH PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT*. 32(3), 167–186.
- Kurniawan, A. N. (2023). RANCANG BANGUN ALAT PENGUJIAN FOCUS FILM DISTANCE (FFD) DESIGN OF FOCUS FILM DISTANCE (FFD) TESTING TOOLS Andrey : Rancang Bangun Alat Pengujian ... Andrey : Rancang Bangun Alat Pengujian ... *JImeD*, 3(2), 236–239.
- Lowe, D., Roy, L., Tabocchini, M. A., Rühm, W., Wakeford, R., Woloschak, G. E., & Laurier, D. (2022). Radiation dose rate effects: what is new and what is needed? In *Radiation and Environmental Biophysics* (Vol. 61, Issue 4). Springer Berlin Heidelberg.
- Mayani, A. N., & Muflihatun. (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 Nukli* Mayani, A. N., & Muflihatun. (2017). *Pengaruh Variasi*

Focus Film Distance (FFD) Terhadap Hasil Presisi Pengukuran Cardiothoracic Ratio (CTR). Prosiding Pertemuan, November, 59–64.

- Napitupulu, R., Rizqi Ulla Amaliah, & Trisna Dewita. (2023). Analisis Keselamatan Radiasi Berdasarkan Perka Bapeten No.04 Tahun 2020 Di Instalasi Radiologi Rsud Kota Tanjungpinang Tahun 2022. *Jurnal Kesehatan Ibnu Sina (J-KIS)*, 4(2), 1–9. <https://doi.org/10.36352/j-kis.v4i2.404>
- Ramadhani. (2023). *234-Article Text-1069-1-10-20230524.pdf*. 4(2), 429–434.
- Rongcai, R. E. N., Guoxiong, W. U., & Ming, C. A. I. (n.d.). Analisis Struktur Kovarians terhadap Indikator Kesehatan Terkait pada Lansia yang Tinggal di Rumah dengan Fokus pada Persepsi Kesehatan Subjektif.
- Sari, A. W., & Fransiska, E. (2018). Pengaruh Faktor Eksposi dengan Ketebalan Objek pada Pemeriksaan Foto Thorax Terhadap Gambaran Radiografi. *Journal of Health*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.30590/vol5-no1-p17-21>.
- Suryaningsih, F., & Susanto, A. T. (2017). Kalibrasi Akuisisi Citra Pesawat Sinar-X Portable Dig 1100. *PRIMA-Aplikasi Dan Rekayasa Dalam Bidang Iptek Nuklir*, 12(1), 20–29.
- Suyatno, F. (2008). Aplikasi radiasi sinar-x di bidang kedokteran untuk menunjang kesehatan masyarakat. *SDM Teknologi Nuklir*, 1(Teknologi Nuklir), 25–26. http://kbs.jogjakota.go.id/upload/53_FerrySuyatno503-509.pdf.
- Zira, J. D., Salisu, A. Y., Sani, M. U., Abdu, A. A., Mustapha, A. H., Geoffrey, L., Flavious, N., Halilu, S. S., Sikam, J. D., Abba, M., Laushugno, S. S., Gro, B., & Ul, U. N. D. (2017). Ultrasonographic Nomogram of the Kidneys in Apparently Healthy Adults in a Nigerian Population. *Pakistan Journal of Radiology*, 27(4), 309–316.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

A. FFD 140 cm

1. Data ke - 1

$$X = \frac{15 (6,25)(65)^2}{140^2}$$

$$X = 20,2090 \text{ mR}$$

$$D = 20,2090 \times 0,00876 = 0,1772 \text{ mGy}$$

2. Data ke - 2

$$X = \frac{15 (6,25)(68)^2}{140^2}$$

$$X = 22,1170 \text{ mR}$$

$$D = 22,1170 \times 0,00876 = 0,1940 \text{ mGy}$$

3. Data ke - 3

$$X = \frac{15 (6,25)(67)^2}{140^2}$$

$$X = 21,4720 \text{ mR}$$

$$D = 21,4720 \times 0,00876 = 0,1883 \text{ mGy}$$

4. Data ke - 4

$$X = \frac{15 (6,25)(70)^2}{140^2}$$

$$X = 23,4380 \text{ mR}$$

$$D = 23,4380 \times 0,00876 = 0,2056 \text{ mGy}$$

5. Data ke - 5

$$X = \frac{15 (6,25)(67)^2}{140^2}$$

$$X = 21,4720 \text{ mR}$$

$$D = 21,4720 \times 0,00876 = 0,1883 \text{ mGy}$$

6. Data ke - 6

$$X = \frac{15 (6,25)(65)^2}{140^2}$$

$$X = 20,2090 \text{ mR}$$

$$D = 20,2090 \times 0,00876 = 0,1772 \text{ mGy}$$

7. Data ke - 7

$$X = \frac{15 (6,25)(66)^2}{140^2}$$

$$X = 20,8360 \text{ mR}$$

$$D = 20,8360 \times 0,00876 = 0,1827 \text{ mGy}$$

8. Data ke - 8

$$X = \frac{15 (6,25)(65)^2}{140^2}$$

$$X = 20,2090 \text{ mR}$$

$$D = 20,2090 \times 0,00876 = 0,1772 \text{ mGy}$$

9. Data ke - 9

$$X = \frac{15 (6,25)(67)^2}{140^2}$$

$$X = 21,4720 \text{ mR}$$

$$D = 21,4720 \times 0,00876 = 0,1883 \text{ mGy}$$

10. Data ke - 10

$$X = \frac{15 (6,25)(68)^2}{140^2}$$

$$X = 22,1170 \text{ mR}$$

$$D = 22,1170 \times 0,00876 = 0,1940 \text{ mGy}$$

B. FFD 130 cm

1. Data ke - 1

$$X = \frac{15 (6)(60)^2}{130^2}$$

$$X = 19,1720 \text{ mR}$$

$$D = 19,1720 \times 0,00876 = 0,1681 \text{ mGy}$$

2. Data ke - 2

$$X = \frac{15 (6)(60)^2}{130^2}$$

$$X = 19,1720 \text{ mR}$$

$$D = 19,1720 \times 0,00876 = 0,1681 \text{ mGy}$$

3. Data ke - 3

$$X = \frac{15 (6)(60)^2}{130^2}$$

$$X = 19,1720 \text{ mR}$$

$$D = 19,1720 \times 0,00876 = 0,1681 \text{ mGy}$$

4. Data ke - 4

$$X = \frac{15 (6)(62)^2}{130^2}$$

$$X = 20,4710 \text{ mR}$$

$$D = 20,4710 \times 0,00876 = 0,1795 \text{ mGy}$$

5. Data ke - 5

$$X = \frac{15 (6)(62)^2}{130^2}$$

$$X = 20,4710 \text{ mR}$$

$$D = 20,4710 \times 0,00876 = 0,1795 \text{ mGy}$$

6. Data ke - 6

$$X = \frac{15 (6)(62)^2}{130^2}$$

$$X = 20,4710 \text{ mR}$$

$$D = 20,4710 \times 0,00876 = 0,1795 \text{ mGy}$$

7. Data ke - 7

$$X = \frac{15 (6)(63)^2}{130^2}$$

$$X = 21,1370 \text{ mR}$$

$$D = 21,1370 \times 0,00876 = 0,1854 \text{ mGy}$$

8. Data ke - 8

$$X = \frac{15 (6)(59)^2}{130^2}$$

$$X = 18,5380 \text{ mR}$$

$$D = 18,5380 \times 0,00876 = 0,1626 \text{ mGy}$$

9. Data ke - 9

$$X = \frac{15 (6)(61)^2}{130^2}$$

$$X = 19,8150 \text{ mR}$$

$$D = 19,8150 \times 0,00876 = 0,1738 \text{ mGy}$$

10. Data ke - 10

$$X = \frac{15 (6)(61)^2}{130^2}$$

$$X = 19,8150 \text{ mR}$$

$$D = 19,8150 \times 0,00876 = 0,1738 \text{ mGy}$$

C. FFD 120 cm

1. Data ke - 1

$$X = \frac{15 (5,25)(59)^2}{120^2}$$

$$X = 19,0370 \text{ mR}$$

$$D = 19,0370 \times 0,00876 = 0,1669 \text{ mGy}$$

2. Data ke - 2

$$X = \frac{15 (5,25)(58)^2}{120^2}$$

$$X = 18,3970 \text{ mR}$$

$$D = 18,3970 \times 0,00876 = 0,1613 \text{ mGy}$$

3. Data ke - 3

$$X = \frac{15 (5,25)(56)^2}{120^2}$$

$$X = 17,1500 \text{ mR}$$

$$D = 17,1500 \times 0,00876 = 0,1504 \text{ mGy}$$

4. Data ke - 4

$$X = \frac{15 (5,25)(59)^2}{120^2}$$

$$X = 19,0370 \text{ mR}$$

$$D = 19,0370 \times 0,00876 = 0,1669 \text{ mGy}$$

5. Data ke – 5

$$X = \frac{15 (5,25)(58)^2}{120^2}$$

$$X = 18,3970 \text{ mR}$$

$$D = 18,3970 \times 0,00876 = 0,1613 \text{ mGy}$$

6. Data ke – 6

$$X = \frac{15 (5,25)(59)^2}{120^2}$$

$$X = 19,0370 \text{ mR}$$

$$D = 19,0370 \times 0,00876 = 0,1669 \text{ mGy}$$

7. Data ke – 7

$$X = \frac{15 (5,25)(56)^2}{120^2}$$

$$X = 17,1500 \text{ mR}$$

$$D = 17,1500 \times 0,00876 = 0,1504 \text{ mGy}$$

8. Data ke – 8

$$X = \frac{15 (5,25)(59)^2}{120^2}$$

$$X = 19,0370 \text{ mR}$$

$$D = 19,0370 \times 0,00876 = 0,1669 \text{ mGy}$$

9. Data ke – 9

$$X = \frac{15 (5,25)(57)^2}{120^2}$$

$$X = 17,7680 \text{ mR}$$

$$D = 17,7680 \times 0,00876 = 0,1558 \text{ mGy}$$

10. Data ke – 10

$$X = \frac{15 (5,25)(57)^2}{120^2}$$

$$X = 17,7680 \text{ mR}$$

$$D = 17,7680 \times 0,00876 = 0,1558 \text{ mGy}$$

Lampiran 2 Surat Menyurat



RUMAH SAKIT IBNU SINA
 Jl. Banda Aceh – Medan, Kilometer 25.5 Kecamatan Indrapuri
 Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh
 e-mail : rsibnusinaabes@gmail.com Telp/Fax. (0651) 8070469, Kode Pos.23363

Indrapuri, 19 Januari 2026

Nomor : 02.014/RSIS/I/2026
 Lampiran : -
 Perihal : **Selesai Penelitian**

Program Studi Teknik Fisika Fakultas
 Sains dan Teknologi
 Universitas Islam Negeri (UIN) Ar- Raniry
 Banda Aceh
 Di –
 Tempat

Kepada Yth,

Dengan Hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : **dr. Wirdah**
 Jabatan : **Direktur Rumah Sakit Ibnu Sina**

Menerangkan bahwa,

Nama : **Dara Ramadhany**
 NIM : **220714010**
 Mahasiswa : **Pogram Studi Teknik Fisika**

Telah melaksanakan penelitian pada Rumah Sakit Ibnu Sina sebagai syarat untuk Tugas Akhir dengan judul:

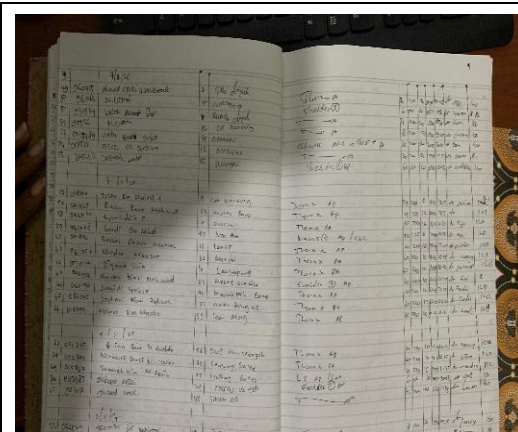
“pengaruh Variasi Jarak Fokus Film Terhadap Dosis Terserap Pasien Pada Pemeriksaan Thorax dengan Mesin Rontgen di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Ibnu Sina”

Demikianlah surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Mengetahui,
 Direktur Rumah Sakit Ibnu Sina

dr. Wirdah
 NRK 16.06.015

Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian



Pengambilan data langsung

NO	TANGGAL PEMERIKSAAN	NO. RM	NAMA PASIEN	UMUR	ALAMAT	JENIS PEMERIKSAAN	KV	mks	FFD (cm)
1	15/11/2023	3041	RIHAL EKBAR	22	LAMKABEU	THORAX PA	65	6,25	140
2	15/11/2023	311	ASNAWI	28	LHEUE	THORAX PA	68	6,25	140
3	15/11/2023	3797	MERISAMUJAL	67	LAMPALUK	THORAX PA	67	6,25	140
4	15/11/2023	30710	HAMALUDDIN DAUD	64	LAMARA TUNONG	THORAX PA	70	6,25	140
5	17/11/2023	8298	SYARIDAH BR	93	BE ALANG DAYAH	THORAX PA	67	6,25	140
6	17/11/2023	18854	FATIMAH	65	LAGE BARO	THORAX PA	65	6,25	140
7	18/11/2023	30717	IBRAHIM	67	LAMPARAK	THORAX PA	66	6,25	140
8	18/11/2023	399	STARIFAH	69	BE ALANG MESJID	THORAX PA	65	6,25	140
9	20/11/2023	3111	BRUKHARI M AJI	67	PITUNG	THORAX PA	67	6,25	140
10	20/11/2023	30700	IBRIS	61	LAMLETPANG	THORAX PA	68	6,25	140
11	15/11/2023	17446	TIYANA ANYA PUTRI	13	SIBERH	THORAX AP	60	6	130
12	15/11/2023	30929	SAIF RAHAKATY	13	MEPAMBE	THORAX AP	60	6	130
13	17/11/2023	30828	M WIPRHAL	12	LAMPANAH	THORAX AP	60	6	130
14	17/11/2023	30709	M AZI	16	BEKAMBE	THORAX AP	62	6	130
15	17/11/2023	30701	M IQBAL	16	SELUKUM	THORAX AP	62	6	130
16	17/11/2023	30242	NERHADI	16	SINTEU	THORAX AP	62	6	130
17	18/11/2023	30306	M KHAILULILLAH	13	PAKUK	THORAX AP	61	6	130
18	18/11/2023	30395	M RAHAN ALFARIZI	10	BEUKH DAYAH	THORAX AP	59	6	130
19	20/11/2023	30180	TIARA MAULIDA	15	SEULANGAI	THORAX PA	61	6	130
20	20/11/2023	37489	HADELA EZRAL	14	AYON	THORAX PA	61	6	130
21	15/11/2023	30916	ABYAR QURATU ANI	9	RIKUK BALEE	THORAX AP	59	5,75	120
22	17/11/2023	30117	MAURISA BINTANG AZANI	7	LUND KEUPH	THORAX AP	58	5,75	120
23	17/11/2023	30989	BAYI NY MAHARAS	3 BR	FANOR ABE	THORAX AP	58	5,75	120
24	18/11/2023	30943	EZAUH MUBARAK	5	KULAM TUMAJA	THORAX AP	59	5,75	120
25	18/11/2023	30308	M RABOUL KHALI	5	BEKANGAH	THORAX AP	58	5,75	120
26	18/11/2023	48397	FAHANA ZANABILA	4	KROBING	THORAX AP	59	5,75	120
27	20/11/2023	31035	M ARIBADY	8 BLN	LAMPON RAJA	THORAX AP	58	5,75	120
28	21/11/2023	37394	SYARIL PUTRO NURHALI	8	LAMPANAH	THORAX PA	59	5,75	120
29	23/11/2023	17157	MUHAMMAD HABIBI	1	BUNG RAYA	THORAX AP	57	5,25	120
30	24/11/2023	33216	M FATHIN ALQOCNI	1	LAMBIANO TRENG	THORAX PA	57	5,25	120

30 data yang telah dipilih

FUJIFILM
HASIL PENGUKURAN PAPARAN RADIASI
No : PPR/FFID133/VI/2023

Data Instansi	
Nama Instansi	: RS Ibnu Sina
Alamat	: Jl. Banda Aceh-Medan Km. 25,5 Indrapuri Aceh Besar, 23363 Aceh
Telp & Fax	: (0651) 8070469 / (0651) 8070469
PPR dan No. SIB	: Rizal, AMR / 048484.224.02.191120
Pekerja Radiasi	: Chairunnisak A. Md. Rad
	: Musthafa Kamal, A. Md. Rad

Data Penguji	
Nama Instansi	: Fujifilm Indonesia
Alamat	: 88 Tower Kasablanka 36 Floor
Telp & Fax	: (021) 2128 2182/83
Penguji PPR dan No. SIB	: Putra Wira Merdeka / 356177.213.02.250222
Tanggal Pengujian	: 14 Juni 2023

Data Tabung		Data Generator	
Pabrikasi	: Canon Electron Tube & Device	Jenis Pesawat	: Stationary (Non AEC)
Model	: E7242	Pabrikasi	: DRGEM Corporation
Nomor Seri	: ZHD799	Model	: GXR-C40
kV max	: 125	Nomor Seri	: GB922A3319A
mA max	: 500	kV max	: 125
Fokus Besar	: 1.5	mA max	: 500
Fokus Kecil	: 0.6	Tahun Pembuatan	: 2022
Filter Bawaan	: 0.9 mmAl	Tahun Instalasi	: 2022

Data Wadah Tabung		Data Kolimator	
Pabrikasi	: Canon Electron Tube & Device	Pabrikasi	: RaiCo
Model	: E7242X	Model	: R 108
Nomor Seri	: Z2H1390	Nomor Seri	: Z209674

FUJIFILM

B	Panel	0,20	Tembok 20cm + Pb 2mm	30 cm dari dinding
C	K. Operasi	0,0	Tembok 20cm + Pb 2mm	30 cm dari dinding
D	Selasar (Koridor)	0,20	Tembok 20cm + Pb 2mm	30 cm dari dinding
E	Pintu Masuk R Radiologi	0,10	Besi + Pb 2 mm	30 cm dari pintu
F	Selasar (Koridor)	0,0	Tembok 20cm + Pb 2mm	30 cm dari dinding
G	Pintu Radiografer	0,10	Besi + Pb 2 mm	30 cm dari pintu

Data Alat Ukur	
Nama Alat Ukur	: Surveymeter Radiasi
Pabrikasi	: Raysafe
Model	: X2 Survey
No. Seri	: 281461
Tanggal Kalibrasi Ulang	: 23 Juni 2023
Target	: Air

Kesimpulan :
Mengacu pada Perka Bapeten no.4 th 2013, hasil pengukuran paparan yang dilakukan masih dibawah nilai yang di izinkan (aman)

Mengetahui
Bagian Radiologi

Penguji Paparan Radiasi

[Signature]

Nama :
Jabatan : Petugas Proteksi Radiasi

Petugas Proteksi Radiasi

data hasil uji kalibrasi RS Ibnu Sina

Lampiran 4 Hasil Penelitian

IBM SPSS Statistics Viewer

File Edit View Data Transform Insert Format Analyze Graphs Utilities Extensions Window Help

Search application

Output

- T-Test
 - Title
 - Notes
 - One-Sample Statist
 - One-Sample Test
 - One-Sample Effect

T-Test

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
dosisserapan	10	,187280	,0091582	,0028961

One-Sample Test

Test Value = 0.4

	t	df	Significance		Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			One-Sided p	Two-Sided p		Lower	Upper
dosisserapan	-73.451	9	<.,001	<.,001	-,2127200	-,219271	-,206169

One-Sample Effect Sizes

	Cohen's d	Standardizer ^a	Point Estimate	95% Confidence Interval	
				Lower	Upper
dosisserapan		,0091582	-,23,227	-,33,785	-,12,702
Hedges' correction		,0100213	-,21,227	-,30,875	-,11,608

^a The denominator used in estimating the effect sizes.
Cohen's d uses the sample standard deviation.
Hedges' correction uses the sample standard deviation, plus a correction factor.

IBM SPSS Statistics Processor is ready Unicode: ON Classic

