

**UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X
RADIOLOGI DIAGNOSTIK DI RUMAH SAKIT
ISLAM YOGYAKARTA PDHI**

TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:
Kanayanaquita
20106020023

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2262/Uj.02/DST/PP.00.9/12/2024

Tugas Akhir dengan judul : Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : KANAYANAQUITA
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020023
Telah diujikan pada : Selasa, 19 November 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

Valid ID: 675925d914d29



Penguji I

Anis Yuniati, S.Si, M.Si., Ph.D.
SIGNED

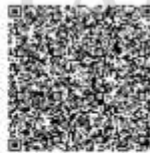
Valid ID: 075684701f6524



Penguji II

Dr. Asih Melati, S.Si., M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 6756872e39a10



Yogyakarta, 19 November 2024

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khairul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 675686628f1ea

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Kanayanaquita
NIM : 20106020023
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 31 Oktober 2024



Kanayanaquita
NIM. 20106020023

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI DAN TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hai : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : KANAYANAQUITA
NIM : 20106020023
Judul Skripsi : Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik Di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 31 Oktober 2024

Pembimbing II

Ali Roo'in Mas'ud, S.Si., M.K.M
NIP. MO 0411231

Pembimbing I

Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si.
NIP. 19820128 200801 2 008

MOTTO

“Doing your best is great, but it’s okay to take a break when you feel overwhelmed”

(Yoon Jeonghan)

“It’s okay to fall, just don’t fall apart”

(Xu Minghao)

“Don’t try to live up to other people’s expectations, Live by your own values, take your own small steps forward, one at a time”

(Kwon Soonyoung)

“It’s okay to cry when you’re having a hard time, just cry it out loud, it’s okay”

(Lee Seokmin)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

*“I don’t care who is doing better than me. I am doing better than I was last year.
Its me vs me.”*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT. yang selalu memberikan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI”**. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan sampai laporan kerja praktik ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. H. Noorhaidi Hasan, M.A., M.Phil., Ph.D. selaku rector UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
 2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
 3. Ibu Dr. Widayanti, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
 4. Bapak Andi, M.Sc., selaku Dosen Penasihat Akademik.
 5. Ibu Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi yang selalu diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
 6. Bapak Ali Roo'in Mas'uul, S.Si., M.K.M. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi yang selalu diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
 7. Bapak Bambang Sapto dan Ibu Elfi Susanti, selaku kedua orang tua penulis.
- Penulis menyadari bahwa tiada kata yang mampu menggambarkan rasa syukur

- ini. Namun, dengan penuh cinta dan ketulusan, izinkan penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kalian. Terima kasih atas segalanya, terima kasih doa, cinta, kasih sayang, dukungan yang tiada henti-hentinya diberikan kepada penulis, khususnya sepanjang perjalanan penelitian skripsi ini. Terima kasih telah mendengar keluh kesah penulis dan terima kasih sudah berjuang dengan penulis hingga meraih gelar sarjana S1. Semoga Allah SWT. senantiasa memberkahi papa dan mama dengan kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, dan umur panjang, serta semoga segala doa yang telah kalian panjatkan untuk penulis menjadi jembatan menuju kesuksesan dunia dan akhirat.
8. Raqilla Fa'iq Alvaro, selaku adik penulis, terimakasih sudah memberikan dukungan dan selalu menghibur penulis dalam keadaan apapun.
 9. Nanda, Namira, Anjaly, Tari, Nahda, dan Intan, selaku teman seperjuangan penulis, terima kasih sudah menemani penulis di masa-masa bangku perkuliahan hingga meraih gelar sarjana, serta memberikan dukungan, dan berbagi tangis dengan penulis.
 10. Aulia, Nazila, Salsa, dan Wahyu, selaku sahabat-sahabat penulis. Terima kasih untuk menjadi partner bertumbuh di segala kondisi, dan selalu menjadi pendengar yang baik serta menjadi orang yang selalu memberikan semangat untuk penulis.
 11. Rofiyu dan Dinda, selaku sahabat-sahabat penulis. Terima kasih selalu meluangkan waktunya untuk mendukung serta mendengarkan setiap cerita dan keluh kesah penulis.

12. Pada 13 orang yang selama ini memasuki hidup penulis, Seungcheol, Jeonghan, Joshua, Jun, Hoshi, Wonwoo, Woozi, Myeongho, Mingyu, Dokyeom, Seungkwan, Vernon, dan Dino. Terima kasih sudah kebersamai penulis untuk menyelesaikan skripsi ini, dan selalu memberikan semangat serta motivasi untuk tidak berhenti menyerah walaupun dalam keadaan seburuk apa pun. *Untill the last "Say The Name, Seventeen"*.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini.
14. Terakhir untuk saya sendiri, Kanayanaquita a.k.a Anya. Terima kasih sudah kuat untuk menyelesaikan tugas akhir ini, *I know its been hard for u lately, but u did it! Little Anya would be proud of you making a new degree to whole family. Your grandmother and acu emma would be proud of you, they see u up there. Lastly*, terima kasih sudah tidak memilih menyerah di 4,5 tahun terakhir, keputusan yang baik untuk bertahan hingga akhir Anya! *good job gurl!*.

Demikian kata pengantar yang disampaikan. Penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir jauh dari kata sempurna oleh karena itu kritik dan saran sangat dibutuhkan. Terima Kasih.

Wassalamu'alaikum. Wr. Wb.

Yogyakarta, 25 Oktober 2024

Penulis

UJI KESESUAIAN PESAWAT SINAR-X RADIOLOGI DIAGNOSTIK DI RUMAH SAKIT ISLAM YOGYAKARTA PDHI

Kanayanaquita
20106020023

INTISARI

Pelaksanaan uji kesesuaian merupakan bagian dari program *Quality Assurance* (QA) dan *Quality Control* (QC) pada pesawat sinar-X radiologi diagnostik untuk memastikan pesawat sinar-X radiologi diagnostik dalam keadaan andal. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai uji parameter pada uji kesesuaian beberapa pesawat sinar-X radiografi, dan menganalisis nilai uji parameter dengan nilai lolos uji sesuai ketentuan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Uji kesesuaian pada penelitian ini dilakukan pada pesawat sinar-X radiografi stasioner, pesawat sinar-X radiografi *mobile*, dan pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* yang ada di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI. Parameter yang diuji yaitu terdiri dari uji kolimasi berkas sinar-X, uji generator dan tabung sinar-X, dan uji sistem kendali otomatis (AEC). Nilai uji parameter pada uji kesesuaian dalam penelitian ini menghasilkan nilai-nilai yang sesuai dengan nilai batas lolos uji berdasarkan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Berdasarkan hasil nilai uji parameter dari uji kesesuaian, dapat disimpulkan bahwa pesawat sinar-X radiografi stasioner, pesawat sinar-X radiografi *mobile*, dan pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* termasuk dalam kategori andal dan layak digunakan dalam pemeriksaan klinis.

Kata kunci: Uji kesesuaian, *Quality Assurance* (QA), *Quality Control* (QC), Radiografi, Pesawat sinar-X

ACCEPTANCE TEST OF DIAGNOSTIC X-RAY MACHINES AT ISLAMIC HOSPITAL YOGYAKARTA PDHI

Kanayanaquita
20106020023

ABSTRACT

The implementation of compliance testing is part of the Quality Assurance (QA) and Quality Control (QC) program for diagnostic radiology X-ray machines to ensure that the diagnostic radiology X-ray machines are in a reliable condition. This research aims to determine the test parameter values in the compliance test of several radiographic X-ray machines and to analyze the test parameter values against the passing test values according to the provisions of PERKA BAPETEN No. 2 of 2022. The compliance test in this study was conducted on stationary radiographic X-ray machines, mobile radiographic X-ray machines, and panoramic cephalometric dental radiographic X-ray machines at the Islamic Hospital Yogyakarta PDHI. The parameters tested include X-ray beam collimation tests, generator and X-ray tube tests, and automatic control sistem (AEC) tests. The test parameter values in the compliance test of this research yielded values that are in accordance with the passing test limit values based on PERKA BAPETEN No. 2 of 2022. Based on the test parameter values from the compliance test, it can be concluded that stationary radiographic X-ray machines, mobile radiographic X-ray machines, and panoramic cephalometric dental radiographic X-ray machines fall into the category of reliable and suitable for clinical examinations.

Keyword: *Compliance test, Quality Assurance (QA), Quality Control (QC), Radiography, X-ray machine*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI DAN TUGAS AKHIR	iii
MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	v
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Batasan Penelitian	9
1.5 Manfaat Penelitian.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Studi Pustaka	11
2.2 Landasan Teori	19
2.2.1 Sinar-X	19
2.2.2 Pesawat Sinar-X Radiografi	24
2.2.2.1 Pesawat Sinar-X Radiografi Stasioner.....	25
2.2.2.2 Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Mobile</i>	35
2.2.2.3 Pesawat Sinar-X Radiografi Gigi <i>Panoramic Cephalometri</i>	38
2.2.3 Efek Biologi Radiasi	48
2.2.4 Proteksi Radiasi.....	49
2.2.5 Dosimetri Radiasi.....	52
2.2.6 Uji Kesesuaian.....	55

2.2.6.1 Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum (Stasioner dan <i>Mobile</i>).....	56
2.2.6.2 Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Gigi <i>Panoramic Cephalometri</i>	66
BAB III METODE PENELITIAN	70
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	70
3.2 Alat Penelitian	70
3.3 Tahapan Penelitian	71
3.3.1 Studi Literatur	72
3.3.2 Persiapan Alat	73
3.3.3 Pengukuran Uji Parameter	73
3.3.4 Pengolahan Data.....	86
3.3.5 Analisis Data	87
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	88
4.1 Hasil dan Pembahasan Pesawat Sinar-X Radiografi Stasioner	88
4.1.1 Uji Kolimasi Berkas Sinar-X	88
4.1.1.1 Uji Iluminasi	88
4.1.1.2 Uji Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X.....	89
4.1.1.3 Uji Ketegaklurusan Berkas Sinar-X	91
4.1.2 Uji Generator dan Tabung Sinar-X	92
4.1.2.1 Uji Akurasi Tegangan.....	93
4.1.2.2 Uji Akurasi Waktu Penyinaran.....	94
4.1.2.3 Uji Linieritas Keluaran radiasi.....	95
4.1.2.4 Uji Reproduksiabilitas	97
4.1.2.5 Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL)	98
4.1.2.6 Uji Kebocoran Wadah Tabung	99
4.1.3 Kendali Paparan otomatis (AEC).....	101
4.1.3.1 Uji <i>Timer</i> Darurat	101
4.1.3.2 Uji Densitas Standar dan Uniformitas	102
4.1.3.3 Uji Penjejukan	103
4.1.3.4 Uji Waktu Respon Minimum	106

4.2 Hasil dan Pembahasan Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Mobile</i>	107
4.2.1 Uji Kolimasi Berkas Sinar-X	108
4.2.1.1 Uji Iluminasi	108
4.2.1.2 Uji Selisih Lapangan Kolimasi dengan Berkas Sinar-X.....	109
4.2.1.3 Uji Ketegaklurusan Berkas Sinar-X	110
4.2.2 Uji Generator dan Tabung Sinar-X	112
4.2.2.1 Uji Akurasi Tegangan.....	112
4.2.2.2 Uji Akurasi Waktu Penyinaran.....	114
4.2.2.3 Uji Linieritas Keluaran radiasi.....	115
4.2.2.4 Uji Reproduksiabilitas	116
4.2.2.5 Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL)	118
4.3 Hasil dan Pembahasan Pesawat Sinar-X Radiografi Gigi <i>Panoramic Cephalometri</i>	119
4.3.1 Uji Kolimasi Berkas Sinar-X	119
4.3.1.1 Uji Kolimasi Berkas Sinar-X mode <i>Panoramic</i>	120
4.3.1.2 Uji Kolimasi Berkas Sinar-X mode <i>Cephalometri</i>	123
4.3.2 Uji Generator dan Tabung Sinar-X	126
4.3.2.1 Uji Akurasi Tegangan.....	126
4.3.2.2 Uji Linieritas	128
4.3.2.3 Uji Reproduksiabilitas	129
4.3.2.4 Uji Kualitas Berkas Sinar-X (HVL)	130
4.3.2.5 Uji Kebocoran Wadah Tabung	131
4.4 Integrasi Interkoneksi	132
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	135
5.1 Kesimpulan.....	135
5.2 Saran.....	136
DAFTAR PUSTAKA	137
LAMPIRAN.....	143

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Pustaka	18
Tabel 2.2 Nilai Lolos Uji Parameter Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar-X Radiografi Stasioner (Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022).....	65
Tabel 2.3 Nilai Lolos Uji Parameter Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Mobile</i> (Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022).....	66
Tabel 2.4 Nilai Lolos Uji Parameter Uji Kesesuaian pada Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Panoramic Cephalometri</i> (Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022).....	69
Tabel 3.1 Alat dan bahan pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi stasioner	70
Tabel 3.2 Alat pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	71
Tabel 3.3 Alat pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	71
Tabel 4.1 Hasil uji iluminasi pesawat sinar-X radiografi stasioner.....	89
Tabel 4.2 Hasil uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	90
Tabel 4.3 Hasil uji akurasi tegangan pada pesawat sinar-X radiografi stasioner .	93
Tabel 4.4 Hasil uji akurasi waktu penyinaran pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	94
Tabel 4.5 Hasil uji linieritas keluaran radiasi fokus besar pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	95
Tabel 4.6 Hasil uji linieritas keluaran radiasi fokus kecil pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	96
Tabel 4.7 Hasil uji reproduksibilitas pada pesawat sinar-X radiografi stasioner .	97
Tabel 4.8 Hasil uji kualitas berkas (HVL) sinar-X pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	98

Tabel 4.9 Hasil uji kebocoran wadah tabung pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	100
Tabel 4.10 Hasil uji densitas standar dan uniformitas pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	102
Tabel 4.11 Hasil uji penjeakan variasi ketebalan pasien pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	104
Tabel 4.12 Hasil uji penjeakan variasi tegangan pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	104
Tabel 4.13 Hasil uji penjeakan variasi kombinasi tegangan dan tebal pasien pada pesawat sinar-X radiografi stasioner.....	105
Tabel 4.14 Hasil uji waktu respon minimum pada pesawat sinar-X radiografi stasioner	107
Tabel 4.15 Hasil uji iluminasi pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	108
Tabel 4.16 Hasil uji selisih lapangan kolimasi dengan berkas sinar-X pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	109
Tabel 4.17 Hasil uji akurasi tegangan pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	112
Tabel 4.18 Hasil uji akurasi waktu penyinaran pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	114
Tabel 4.19 Hasil uji linieritas keluaran radiasi pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	115
Tabel 4.20 Hasil uji reproduksibilitas pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	116
Tabel 4.21 Hasil uji kualitas berkas sinar-X (HVL) pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	118
Tabel 4.22 Hasil uji kesesuaian dimensi berkas sinar-X dengan dimensi <i>slit</i> pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	120
Tabel 4.23 Hasil uji kesesuaian dimensi berkas sinar-X pada reseptor citra dengan dimensi reseptor citra mode <i>panoramic</i> pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	121
Tabel 4.24 Hasil uji kesesuaian dimensi berkas sinar-X dengan dimensi reseptor citra mode <i>cephalometri</i> pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	124

Tabel 4.25 Hasil uji akurasi tegangan pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	126
Tabel 4.26 Hasil uji linieritas pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	128
Tabel 4.27 Hasil uji reproduksibilitas pada pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic cephalometri</i>	129
Tabel 4.28 Hasil uji kebocoran wadah tabung pada pesawat sinar-X radiografi <i>panoramic cephalometri</i>	131



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Spektrum energi sinar-X (Mikra, 2020)	21
Gambar 2.2 Proses terbentuknya sinar-X <i>bremstrahlung</i> (Adnyana, 2014).....	22
Gambar 2.3 Proses terbentuknya sinar-X karakteristik (Akhadi, 2020).....	23
Gambar 2.4 Pesawat Sinar-X Radiografi Stasioner (Alexander, 2019)	25
Gambar 2.5 Komponen pesawat sinar-X radiografi stasioner (Alinda, 2018)	26
Gambar 2.6 Tabung sinar-X (Swangi, 2021)	26
Gambar 2.7 Bagian-bagian kolimator (Dabukke, 2018)	29
Gambar 2.8 (A) Meja Pemeriksaan, (B) Wall Bucky Stand (Dabukke, 2018) ...	32
Gambar 2.9 Sistem Automatic Exposure Control pada Wall Bucky Stand (Bushong, 2012)	33
Gambar 2.10 Pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i> (Hyperastuty dkk 2021)	36
Gambar 2.11 Komponen Pesawat Radiografi Sinar-X <i>Mobile</i> (Dabukke, 2018)	36
Gambar 2.12 <i>Handswitch</i> (Fatahillah dkk, 2023)	37
Gambar 2.13 Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Panoramic Cephalometri</i> (Violeta, 2018).....	39
Gambar 2.14 Komponen Pesawat Sinar-X Radiografi <i>Panoramic Cephalometri</i> (Islamiyati, 2019)	40
Gambar 2.15 Komponen kepala tabung sinar-X (Lanucci dan Howerton, 2022)	40
Gambar 2.16 (A) Pengaturan Posisi Kepala dan (B) <i>Bite Block</i> (Whaites dan Drage, 2021).....	43
Gambar 2.17 Panel Kontrol (Whaites dan Drage, 2021).....	44
Gambar 2.18 <i>Cephalostat</i> (Whaites dan Drage, 2021).....	45
Gambar 2.19 Skema Pergerakan pada Pesawat Sinar-X Radiografi mode <i>panoramic</i> (Whaites dan Drage, 2021)	46
Gambar 2.20 Skema Tahapan Pembentukan Citra pada Radiografi mode <i>Panoramic</i> (Whaites dan Drage, 2021).....	47
Gambar 2.21 Pergerakan <i>secondary collimator</i> dan <i>solid-state sensor</i> secara horizontal (Whaites dan Drage, 2021).....	48
Gambar 2.22 Unfors X2 atau RaySafe X2 (Aswad dkk, 2018)	53

Gambar 2.23 IBA Magicmax Multidetector XR (IBA Group, 2019)	54
Gambar 2.24 Piranha Multi X-Ray meter (Southern Scientific, 2019).....	54
Gambar 2.25 (A) RadEye G20 dan (B) RadEye B20 (Thermo Scientific, 2012)	55
Gambar 2.26 Ilustrasi pengukuran uji ketegaklurusan berkas sinar-X (Roes, 2012)	58
Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian.....	72
Gambar 3.2 Diagram Alir uji kolimasi berkas sinar-X	74
Gambar 3.3 Skema pengukuran uji iluminasi	75
Gambar 3.4 Skema area pada pengukuran uji iluminasi	75
Gambar 3.5 Skema pengukuran uji selisih lapangan kolimasi dan ketegaklurusan	76
Gambar 3.6 Skema skala lapangan radiasi dan skala lapangan sinar kolimator .	76
Gambar 3.7 Diagram Alir uji generator dan tabung sinar-X.....	77
Gambar 3.8 Diagram alir uji kendali paparan otomatis (AEC).....	80
Gambar 3.9 Diagram alir pada uji kolimasi berkas sinar-X pesawat sinar-X radiografi gigi <i>panoramic</i> cephalometri.....	83
Gambar 4.1 Hasil citra/gambar uji ketegaklurusan berkas sinar-X pada Pesawat sinar-X radiografi stasioner	92
Gambar 4.2 Hasil citra/gambar uji ketegaklurusan berkas sinar-X pada pesawat sinar-X radiografi <i>mobile</i>	112
Gambar 4.3 Hasil dimensi berkas sinar-X di depan slit pada pesawat sinar-X radiografi gigi panoramic cephalometri	120
Gambar 4.4 Hasil dimensi berkas sinar-X pada reseptor citra mode panoramic pada pesawat sinar-X gigi radiografi gigi panoramic cephalometri	121
Gambar 4.5 Hasil dimensi berkas sinar-X pada reseptor citra uji kolimasi berkas sinar-X mode cephalometri pada pesawat sinar-X radiografi gigi panoramic cephalometri	124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Form Pengambilan Data	144
Lampiran 2: Hasil Data Uji Parameter	152
Lampiran 3: Pengolahan Data	160
Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian	169



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Radiasi merupakan pancaran energi melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel, atau elektromagnetik/cahaya (foton) dari suatu sumber radiasi. Beberapa jenis dari radiasi yaitu, radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion merupakan jenis radiasi yang mampu menyebabkan ionisasi, yaitu saat radiasi tersebut bertabrakan atau menumbuk suatu objek dan menghasilkan partikel bermuatan listrik yang disebut ion. Sebaliknya radiasi non-pengion merupakan radiasi yang tidak memiliki kemampuan untuk menyebabkan ionisasi (Sriwahyuni, 2017).

Radiasi pengion seringkali hanya dianggap sebagai istilah yang menimbulkan konotasi negatif dalam benak masyarakat umum, namun seiring perkembangan teknologi radiasi pengion sudah banyak sekali dimanfaatkan khususnya pada bidang medis atau kedokteran. Radiasi pengion yang berkembang sangat pesat dalam bidang medis yaitu sinar-X. Penemuan sinar-X pada tahun 1895 oleh Wilhelm Conrad Roentgen telah membuat perubahan drastis pada bidang medis, khususnya pada bagian radiologi (Aisah dkk, 2021). Radiologi merupakan bagian dari ilmu kedokteran yang terkait dengan pemanfaatan modalitas yang menggunakan radiasi untuk melakukan diagnosis dan prosedur terapi, ini termasuk teknik pencitraan, pemanfaatan sinar-X, dan zat radioaktif. Pada rumah sakit, umumnya dilakukan pemeriksaan radiografi konvensional. Radiografi konvensional adalah suatu metode pemeriksaan yang menggunakan pesawat konvensional, baik

yang terpasang secara permanen maupun secara *mobile*, di dalam ruangan untuk pemeriksaan umum secara berkala (Susanti dkk, 2022). Pada bagian radiologi diagnostik, sinar-X merupakan jenis radiasi pengion yang digunakan untuk mendiagnosa suatu penyakit atau kelainan organ tubuh. Salah satu contoh penggunaan modalitas sinar-X pada bidang medis yaitu pesawat sinar-X radiografi.

Pesawat sinar-X radiografi merupakan perangkat yang digunakan dalam melakukan diagnosa dengan memanfaatkan sinar-X. Berkas sinar-X akan menembus area tubuh dan akan direkam oleh film atau detektor, sehingga akan terbentuk citra dari bagian tubuh yang disinari (Wiharja dan Al Bahar, 2019). Berkas sinar-X yang berpengaruh terhadap kualitas radiograf (citra) yang dihasilkan merupakan berkas yang diteruskan dan dihamburkan, sedangkan berkas sinar-X yang diserap akan berpengaruh dosis radiasi yang diterima pasien. Penggunaan pesawat sinar-X radiografi memiliki beberapa faktor eksposi yang mempengaruhi intensitas sinar-X, dan dapat menentukan kualitas citra yang dihasilkan. Kualitas citra yang dihasilkan sangat berpengaruh pada dosis paparan radiasi yang dikeluarkan. Pemberian faktor eksposi pada penggunaan pesawat sinar-X radiografi yang sesuai dapat mengurangi dosis paparan radiasi yang diserap tanpa mengurangi kualitas citra yang dihasilkan (Asriningrum dkk, 2021).

Setiap pemeriksaan yang dilakukan menggunakan modalitas pesawat sinar-X radiografi banyak sekali hal yang harus diperhatikan salah satunya adalah dosis paparan radiasi yang dikeluarkan pesawat sinar-X radiografi. Ketika radiasi mencapai tubuh manusia akan menyebabkan ionisasi pada sel-sel tubuh yang sebagian besar terdiri dari molekul air. Proses ionisasi dapat mengakibatkan

kematian, kerusakan, atau perubahan pada sel, atau yang biasa disebut dengan efek biologi radiasi (Monita dkk, 2020). Pada individu manusia dapat terjadi efek biologis jika terpapar radiasi secara berlebihan. Efek biologis radiasi pada manusia terbagi menjadi dua yaitu efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik merupakan efek kerusakan pada tubuh manusia yang terpapar radiasi jika dosis yang diterima sangat tinggi, efek yang terjadi seperti kemerahan pada kulit, kerontokan rambut, dan sebagainya. Efek stokastik dapat terjadi meskipun dalam batas radiasi yang telah direkomendasikan atau tidak memiliki ambang batas dosis. Efek stokastik tetap terjadi walaupun dilakukan dalam batas minimal dosis radiasi, efek yang terjadi seperti kanker atau cacat pada keturunan kerusakan pada genetik (Nugraheni dkk, 2022). Oleh karena itu, selain memberikan manfaat yang signifikan, sinar-X juga dapat memberikan dampak negatif pada kesehatan tubuh. Dari manfaat dan resiko dari sinar-X yang telah dijelaskan dapat dianalogikan dengan firman Allah SWT. dalam Q.S. Yunus ayat 24 (Hasmawati, 2016):

إِنَّمَا مَثَلُ الْحَيَاةِ الدُّنْيَا كَمَاءٍ أَنْزَلْنَاهُ مِنَ السَّمَاءِ فَاخْتَلَطَ بِهِ نَبَاتُ الْأَرْضِ مِمَّا يَأْكُلُ النَّاسُ وَالْأَنْعَامُ حَتَّى إِذَا أَخَذَتِ الْأَرْضُ زُخْرُفَهَا وَازَّيَّنَتْ وَظَنَّ أَهْلُهَا أَنَّهُمْ قَدِرُونَ عَلَيْهَا أَمْرًا لَيْلًا أَوْ نَهَارًا فَجَعَلْنَاهَا حَصِيدًا كَأَن لَّمْ تَغْنَبِ بِالْأَمْسِ كَذَلِكَ نُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿٢٤﴾

Artinya: “Sesungguhnya perumpamaan kehidupan dunia adalah ibarat air yang Kami turunkan dari langit, lalu tumbuhlah karenanya macam-macam tanaman bumi yang (dapat) dimakan oleh manusia dan hewan ternak. Hingga apabila bumi itu telah sempurna keindahannya, dan memakai (pula perhiasannya, dan pemilik-pemiliknyanya mengira bahwa mereka pasti menguasainya (memetik hasilnya), tiba-tiba datanglah kepadanya azab Kami pada waktu malam atau siang, lalu Kami jadikan (tanaman)-nya seperti tanaman yang sudah disabit, seakan-akan belum

pernah tumbuh kemarin. Demikianlah Kami menjelaskan secara terperinci ayat-ayat itu kepada kaum yang berpikir.”

Di dalam tafsir Quraish Shihab dijelaskan bahwa kehidupan dunia dengan segala kesenangan dan keindahannya dapat disamakan dengan air yang turun dari langit, mencampur dengan tanaman di bumi yang menjadi makanan bagi manusia dan hewan. Tanaman itu tumbuh, berbunga, dan berubah, menambah keindahan bumi. Namun, saat tanaman ini mencapai puncak keelokannya dan manusia mengambil manfaat dari buah dan kebaikannya, tiba-tiba Allah memutuskan untuk mengakhiri. Maka semua itu seperti hasil panen yang tidak berpenghuni dan tidak pernah indah sebelumnya. Dalam kedua keadaan tersebut, keelokan yang menggembirakan manusia diikuti dengan kehilangan dan kemusnahan, Allah SWT. menjelaskan ayat-ayat dan merinci hukum dan bukti yang ada di dalamnya kepada orang-orang yang berpikir dan berakal. Ayat ini mengarah pada suatu hakikat yang mulai terbukti, yaitu bahwa manusia dapat menggunakan ilmu pengetahuan untuk kepentingannya, dengan itu manusia dapat mencapai tujuannya. Oleh karena itu, Ketika hakikat ini mendekati kesempurnaannya dengan manusia merasa telah mencapai puncak pengetahuan, ketetapan Allah akan datang (Shihab, 2005).

Tafsir di atas menjelaskan bagaimana Allah SWT., menciptakan air hujan yang turun dari langit, memberikan manfaat bagi manusia dan hewan. Air hujan tersebut membuat tanaman subur, beberapa menjadi subur dan produktif yang bisa dimakan manusia atau hewan, namun tanaman tersebut juga dapat rusak jika Allah SWT., mengambilnya kembali atau karena kelalaian manusia. Seperti sinar-X, diciptakan oleh Allah SWT., yang berguna bagi kesehatan manusia dengan kemampuannya mendeteksi penyakit seperti kanker atau tumor. Namun, jika tidak digunakan

dengan bijak, sinar-X juga berbahaya bagi kesehatan manusia, karena dapat menyebabkan kerusakan atau cacat akibat paparan radiasinya yang berlebihan, melebihi batas yang aman (Hasmawati, 2016).

Keselamatan radiasi pengion pada rumah sakit dilakukan sesuai Peraturan Pemerintahan Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2007 mengenai keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, setiap rumah sakit yang menggunakan layanan medis dengan sumber radioaktif harus memastikan keamanan peralatan medis yang dipakai dengan melakukan pengujian peralatan medis untuk keamanan publik (Susanti dkk, 2017). Keselamatan radiasi pengion pada rumah sakit dapat dilakukan dengan pencegahan pengeluaran paparan radiasi yang berlebih. Sesuai pada Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (PERKA BAPETEN) No. 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Pada modalitas pesawat sinar-X radiografi dapat dilakukan dengan uji kesesuaian secara berkala. Pelaksanaan uji kesesuaian merupakan salah satu jaminan dari program *Quality Assurance* (QA) yang meliputi Teknik pemantauan, pemeliharaan alat serta sistem radiologi, dan *Quality Control* (QC) untuk memastikan bahwa kinerja peralatan yang digunakan masih dalam keadaan andal sehingga menghasilkan citra/gambar yang optimal (Sudarsih dkk, 2019).

Uji kesesuaian pesawat sinar-X merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk memastikan pesawat sinar-X dalam kondisi andal, pada saat pemeriksaan diagnostik ataupun intervensional dan sesuai dengan peraturan perundang-undangan. Uji kesesuaian merupakan landasan suatu program jaminan mutu pada

bidang radiodiagnostik, yang mencakup sejumlah tes dalam program tersebut. Mutu dan keamanan pada layanan radiodiagnostik adalah hal yang penting karena dapat menimbulkan risiko terhadap petugas, pasien, dan lingkungan sekitarnya jika tidak dikelola dengan baik. Oleh karena itu, uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi sangat penting dilakukan secara berkala (Sriwahyuni, 2017). Uji kesesuaian memiliki parameter penting yang berhubungan dengan pengambilan citra yaitu uji kolimasi berkas cahaya, uji generator dan tabung, dan uji sistem kendali otomatis (AEC). Uji kolimasi berkas cahaya sangat penting dilakukan karena pada parameter ini dapat memastikan keakurasian dan kepresisian dalam mengarahkan berkas sinar-X pada area yang akan diperiksa, sehingga dapat mengurangi paparan dosis radiasi yang berlebih pada setiap pemeriksaan. Uji generator dan tabung juga sangat penting dilakukan karena pada uji ini memiliki parameter seperti tegangan, waktu, dan arus yang sangat berpengaruh pada keluaran dosis radiasi, sehingga uji ini dilakukan untuk keselamatan radiasi pada setiap pemeriksaan. Uji sistem kendali otomatis (AEC), dilakukan pada pesawat sinar-X radiografi stasioner yang dimana memiliki sistem *Automatic Exposure Control* (AEC) dan parameter ini sangat penting dilakukan. Uji kesesuaian pesawat Sinar-X sesuai dengan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022. Uji kesesuaian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja komponen-komponen penting yang mempengaruhi dosis radiasi yang diterima oleh pasien dan hasil kualitas citra yang diperoleh juga tetap optimal.

Penelitian tentang uji kesesuaian telah dilakukan oleh Tohiri dan Mutaqqin (2022) pada pesawat sinar-X dengan merek siemens, dengan menggunakan detektor RaySafe dan membandingkan nilai hasil ukur dengan nilai lolos uji

berdasarkan Perka BAPETEN No. 2 Tahun 2018. Pada penelitian lainnya juga dilakukan oleh Hyperastuty dkk (2021) pada pesawat sinar-X radiografi mobile dengan merek DRGEM tipe TOPAZ 40D, menggunakan alat ukur *X-ray* multimeter merek RTI tipe Piranha 557 dan membandingkan nilai hasil ukur dengan nilai lolos uji Perka BAPETEN No. 2 Tahun 2018. Penelitian tentang uji kesesuaian lainnya telah dilakukan oleh Kurniawan dkk (2023) pada pesawat sinar-X *panoramic cephalometri* CS8100SC, menggunakan alat ukur RaySafe, dan membandingkan nilai hasil ukur dengan nilai lolos uji PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2018.

Berdasarkan pemaparan di atas, keselamatan radiasi pada instalasi radiologi di setiap rumah sakit sangat penting dilakukan. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menjaga keselamatan radiasi adalah melakukan uji kesesuaian pada setiap modalitas diagnostik dan intervensional. Selain untuk keselamatan radiasi, pentingnya uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi juga sangat berpengaruh pada kualitas citra yang dihasilkan. Kualitas citra yang dihasilkan akan buruk dan tidak dapat diidentifikasi jika tidak dilakukan uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi. Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan untuk uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi yang ada di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI. Data yang diperoleh akan berupa nilai ukur pada setiap uji parameter yang dilakukan. Dari data ini akan dilakukan analisis dan dibandingkan dengan nilai lolos uji berdasarkan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah

1. Bagaimana hasil uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi stasioner di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI?
2. Bagaimana hasil uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi *mobile* di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI?
3. Bagaimana hasil uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI?
4. Apakah hasil uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI sesuai dengan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi stasioner di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI.
2. Menentukan nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi *mobile* di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI.
3. Menentukan nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI.
4. Menganalisis hasil uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI sesuai dengan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada uji parameter dan alat ukur yang digunakan pada setiap jenis pesawat sinar-X radiografi yang akan dilakukan di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI, yang akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut.

1. Pesawat sinar-X radiografi stasioner dengan merek Siemens tipe MULTIX Impact E (11333999). Uji kesesuaian yang dilakukan yaitu uji kolimasi berkas sinar-X, uji generator dan tabung sinar-X, dan uji kendali paparan otomatis (AEC). Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter dengan merek IBA MagicMax Universal tipe R-160456, Lux meter dengan merek MagicMax Illuminance detector MM-LS tipe 24129, dan Surveymeter dengan merek RadEye tipe B20 Sh.30230.
2. Pesawat sinar-X radiografi *mobile* merek MEDNIF tipe F100. Uji kesesuaian yang dilakukan yaitu uji kolimasi berkas sinar-X dan uji generator dan tabung sinar-X, namun tidak dilakukan uji kebocoran wadah tabung sinar-X. Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter dengan merek UNFORS X2 *Base unit* dan Unfors R/F Mam *Detector*, serta lux meter dengan merek Hioki FT3424.
3. Pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic* dan *cephalometric* merek Carestream Dental tipe CS 8100SC. Uji kesesuaian yang dilakukan yaitu uji kolimasi berkas sinar-X dan uji generator dan tabung sinar-X. Alat ukur yang digunakan yaitu multimeter dengan merek Piranha tipe CB2-08100362 dan surveymeter dengan merek RadEye tipe G20 31754.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian di atas, maka penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait keselamatan radiasi pada penggunaan pesawat sinar-X radiografi pada Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI.
2. Memberikan informasi terkait uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi pada Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI termasuk dalam kondisi andal atau tidak.
3. Memberikan informasi tentang pentingnya uji kesesuaian pada pesawat sinar-X radiografi sehingga dalam mendapatkan kualitas citra yang bagus dan dosis radiasi yang diterima pasien berkurang.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi stasioner dengan merek Siemens model MULTIX Impact E (11333999) dengan no seri 20006, di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI, menunjukkan bahwa semua parameter yang diuji dalam kondisi andal dan layak untuk penggunaan klinis.
2. Nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi *mobile* dengan merek MEDNIF tipe F100 No seri 1125, di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI, menunjukkan bahwa semua parameter yang diuji dalam kondisi andal dan layak.
3. Nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* dengan merek Carestream Dental tipe CS8100SC No seri LEIG297, di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI, menunjukkan bahwa semua parameter yang diuji dalam kondisi andal dan layak.
4. Hasil analisis nilai uji parameter pada uji kesesuaian pesawat sinar-X radiografi stasioner, pesawat sinar-X radiografi *mobile*, dan pesawat sinar-X radiografi gigi *panoramic cephalometri* di Rumah Sakit Islam Yogyakarta PDHI termasuk dalam kategori andal dan layak digunakan, karena nilai uji parameter

yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan nilai lolos uji sesuai ketentuan PERKA BAPETEN No. 2 Tahun 2022.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, yaitu:

1. Uji ketegaklurusan berkas sinar-X diukur dan diverifikasi dengan alat ukur sudut seperti Goniometer, agar menghasilkan ketegaklurusan berkas sinar-X lebih akurat dan teliti.
2. Alat ukur yang digunakan perlu dipastikan sudah terkalibrasi sebelum pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I. G. A. P. 2014. *Uji Kesesuaian Lampu Kolimasi dengan Berkas Radiasi menggunakan Alat Quality Control (QC)*. (Penelitian Mandiri), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Udayana, Bali.
- Agustina, R. 2015. *Laporan PKL*. Diakses pada 20 Maret 2024 dari https://www.academia.edu/19448947/Laporan_PKL_fix
- Aisah, A. N., Sutapa, I. G. N., dan Wendri, N. 2021. *Penentuan Dosis Paparan Radiasi Pesawat Sinar-X Pemeriksaan Thorax Berdasarkan Indeks Massa Tubuh (IMT)*. Kappa Journal: Program Studi Pendidikan Fisika FMIPA Universitas Hamzanwadi, **Vol. 5, No. 2**: 240-245.
- Akhadi, M. 2020. *Sinar-X Menjawab Masalah Kesehatan*. Deepublish. Yogyakarta, Indonesia.
- Alexander, D. 2019. *Everything You Need to Know About the X-Ray and Its Accidental History*. Diakses pada 20 Maret 2024 dari <https://interestingengineering.com/science/everything-you-need-to-know-about-the-x-ray-and-its-accidental-history>
- Alinda, A. 2018. *Wiring and Diagram: Diagram of X-Ray Cassette*. Diakses pada 15 April 2024 dari <https://antasyaalinda.blogspot.com/2018/11/diagram-of-x-ray-cassette.html?lr=1720859909617>
- Asriningrum, S., Ansory, K., dan Hasan, P. T. 2021. *Faktor Eksposi terhadap Kualitas Citra Radiografi dan Dosis Pasien Menggunakan Parameter Penilaian Signal to Noise Ratio (SNR) pada Pemeriksaan Thorax Posteroanterior dengan Menggunakan Pesawat Computed Radiografi*. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, **Vol. 5**: 15–18.
- Aswad, Abdullah, B., dan Tahir, D. 2018. *Studi Quality Control (QC) Pesawat Fluoroscopy (Angiografi) di PT. Siloam Internasional Hospital Makassar menggunakan Multimeter RaySafe (X2) dan Black Piranha RTI*. *POSITRON*, **Vol. 8, No. 2**: 25-30.
- BAPETEN. 2011. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 9 Tahun 2011 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik Dan Intervensional*.
- BAPETEN. 2022. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2022 Tentang Perubahan Atas Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 Tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik Dan Intervensional*.
- Bushong, S. C. 2012. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection* (10th ed.). Elsevier. St. Louis, Missouri.

- Bushong, S. C. 2017. *Radiologic Science for Technologists: Physics, Biology, and Protection* (11th ed.). Elsevier. St. Louis, MO.
- Dabukke, H. 2018. *Pengujian Iluminasi, Kolimasi, Ketegaklurusan dan Kualitas Berkas Pesawat Sinar-X Radiografi Umum dengan Radiografi Mobile* (Tesis), Jurusan Magister Fisika, FMIPA, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Dance, D. R., Christofides, S., Maidment, A. D. A., Mclean, I. D., dan Ng, K. H. 2014. *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. IAEA. Vienna, Austria.
- Dewi, L. P. S. A., Antika, Y., Andriyani, P. F., Yuli, N. N., dan Astiwati, P. D. 2015. *Efek Biologi Proteksi Radiasi*. (Makalah), Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Ganesha, Singaraja.
- Dinayawati. 2011. *Estimasi Dosis Pasien pada Pemeriksaan Dental Panoramik*, (Skripsi), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok.
- Fatahillah, M. N., Taslim, L. O. A., Alfian, L. O. M., Cahya R, D. D., K, A., Rolin, Hasbin, N. S., Amin, N. N., Rajaki, F., D, A. S. P., dan Mahdin, M. 2023. *Laporan Praktikum Peralatan Radiologi Dasar: X-Ray Mobile*. (Laporan Praktikum), Jurusan D-III Teknologi Elektro-medis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Mandala Waluya, Kendari.
- Febrianti, D. P. E. 2019. *Alat Ukur Radiasi : Kenali Jenis Dosimeter Radiasi Sebagai Alat Penunjang Proteksi Radiasi*. Diakses pada 30 Mei 2024 dari <https://retizen.republika.co.id/posts/219038/alat-ukur-radiasi-kenali-jenis-dosimeter-radiasi-sebagai-alat-penunjang-proteksi-radiasi>
- Fikriyanto, R., dan Maulidya, I. 2023. *Prinsip Keselamatan Penggunaan Radiasi ALARA (AS Low As Reasonably Achievable) Pada Pemeriksaan Pediatrik*. Diakses pada 31 Mei 2024 dari https://www.academia.edu/103187185/Prinsip_Keselamatan_Penggunaan_Radiasi_ALARA_As_Low_As_Reasonably_Achievable_Pada_Pemeriksaan_Pediatrik
- Harmiati, S. 2012. *Penentuan Nilai HVL Filter Aluminium Pada Pesawat X-Ray General Purpose Di RSUD Majene*. (Skripsi), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hasmawati. 2016. *Analisis Dosis Paparan Radiasi Sinar-X Diunit Radiologi RS. Bhayangkara Makassar*. (Skripsi), Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Hyperastuty, A. S., Mukhammad, Y., dan Sugeng. 2021. *Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiografi Mobile Merk Drgem Topaz-40d Menggunakan X-Ray Multimeter PIRANHA*. *Journal Of Health Science* (Jurnal Ilmu Kesehatan), **Vol. 4, No. 1, Mei 2021**: 19–26.

IBA Group. 2019. *Quality Control In Medical Imaging*.

Ibad, Z. N., Muslim, M., dan Sofyan, H. 2020. *Perbandingan Dosis Permukaan Pada Pemeriksaan Thorax Anak Menggunakan Metode Automatic Exposure Control Dan Metode Manual*. Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia, **Vol. 21, No. 2, Agustus 2020**: 61–71.

Inayah, A. 2021. *Pesawat Sinar-X Stationary*. (Makalah), Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Jakarta II, Jakarta.

Islamiyati, Y. 2019. *X-Ray Panoramic*. Diakses pada 7 Juli 2024 dari https://www.scribd.com/presentation/410561712/x-Ray-Panoramic?_gl=1*26ls43*_gcl_au*OTc3MTE4MTU2LjE3MTE2ODQ4NDM.

Kader, H. I. A., Gad, H. M., Mekhimar, M., Said, A. M., dan El -Said, M. A. 2019. *Study the Quality Control for Three Diagnostic X – Ray Machines*. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, **Vol. 10, No. 3, Maret 2019**: 487–499.

Kardiawarman. 1996. *Sinar-X*. (Makalah), Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IKIP Bandung, Bandung.

Khairina, A., Tresya, M., dan Kusumaningrum, P. 2017. *Simulasi Gantry CT-Scan*. (Laporan Praktikum), Program Studi D-III Teknik Elektromedik, Program Vokasi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, D I Yogyakarta.

Kurniawan, A. N., Rochmayanti, D., dan Prastanti, A. D. 2023. *Uji Kesesuaian Pesawat Panoramic Cephalometric di Laboratorium Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi Poltekkes Kemenkes Semarang (Uji Menggunakan Film Gafchromic)*. *Jurnal Radiografer Indonesia*, **Vol. 6, No. 1, Mei 2023**.

Lanucci, J. M., dan Howerton, L. J. 2022. *Dental Radiography Principles and Techniques* (6th ed). Elsevier. St. Louis, Missouri.

Lasiyah, N., Pertiwi, Y., Mulyadi, R., dan Nofrianto. 2022. *Analisis Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Mobile Merk Allengers Type Mars-6 SBM*. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, **Vol. 7, No. 2, Desember 2022**: 154-158.

Lestari, S. 2019. *Teknik Radiografi Medis* (1st ed.). ANDI. Yogyakarta, Indonesia.

Manik, J. W., Hariyanto, B., dan Abdullah, E. 2021. *Analisis Kesesuaian Lapangan Kolimasi Pada Alat Digital Radiografi*. *Cerdika: Jurnal Ilmiah Indonesia*, **Vol. 1, No. 6, Juni 2021**: 669–674.

Melinda, A. 2020. *Mobile Rontgen Sebagai Teknologi Penerapan Teori Hamburan Fisika Kuantum*. Universitas Diponegoro, **Vol. 1, No. 1, Juni 2020**.

Mikra. 2020. *300: Fisika SMA: Apakah Spektrum Sinar-X Bergantung Pada Jenis Logam? - Hukum Moseley*. Diakses pada 13 Juni 2024 dari <https://profmikra.org/?p=4396>

- Monita, R., Rasyid, Z., Muhamadiyah, Edigan, F., dan Masribut. 2020. *Analisis Penerapan Keselamatan Radiasi Sinar-X pada Petugas Radiasi di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pekanbaru Medical Center (PMC)*. Al-Tamimi Kesmas: Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat (*Journal of Public Health Sciences*), **Vol. 9, No. 1**: 39–49.
- Mrzezo. 2015. *Dental X-Ray Equipment, Image Receptors, and Image Processing*. Diakses pada 3 Mei 2024 dari <https://antasyaalinda.blogspot.com/2018/11/diagram-of-x-ray-cassette.html?lr=1720859909617>
- Mrzezo. 2015. *Panoramic Equipment and Imaging*. Diakses pada 3 Mei 2024 dari <https://pocketdentistry.com/3-panoramic-equipment-and-imaging/>
- Mubarak, L. 2019. *Uji Kebocoran Pesawat Sinar-X*. (Laporan Praktikum), Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
- Nugraheni, F., Anisah, F., dan Susetyo, G. A. 2022. *Analisis Efek Radiasi Sinar-X pada Tubuh Manusia*. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, **Vol. 1, No. 1**: 19–25.
- Nurchahyo, P. W., dan Aryani, A. I. 2023. *Pelaksanaan Quality Control Pesawat Sinar X di Pelayanan Radiodiagnostik*. *Jurnal Radiografer Indonesia*, **Vol. 1, No. 2**: 61–64.
- Prahastiwi, A. A. C. Y. 2017. *Uji Kualitas Pesawat Sinar-X Merk Saiemens Tipe Polymobil Plus Di Klinik Batan Kawasan Nuklir Serpong Komplek Puspiptek*. (Laporan Kerja Praktik). Program Studi Teknik Nuklir, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Pratiwi, A. D., Indriyani, dan Yunawati, I. 2021. *Penerapan Proteksi Radiasi Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit*. *HIGEIA JOURNAL OF PUBLIC HEALTH RESEARCH AND DEVELOPMENT*, **Vol. 5, No. 3**: 409–420 5(3).
- Pubdiklat BATAN. 2017. *Efek Biologi Radiasi*. Pubdiklat-BATAN.
- Rachman, T. 2017. *Sistem Lingkungan Industri: Radiasi*. Diakses pada 8 Agustus 2024 dari <http://taufiqurrachman.weblog.esaunggul.ac.id>
- Rahman, F. U. A., Nurrachman, A. S., Astuti, E. R., Epsilawati, L., dan Azhari. 2020. *Paradigma baru konsep proteksi radiasi dalam pemeriksaan radiologi kedokteran gigi: dari ALARA menjadi ALADAIP*. *Jurnal Radiologi Dentomaksilofasial Indonesia (JRDI)*, **Vol. 4, No. 2, Agustus 2020**: 27–34.
- Roes. 2012. *Kolimator Pesawat Sinar-X dan Permasalahannya*. Diakses pada 21 Juli 2024 dari <https://www.binayalogic.com/2012/06/kolimator-pesawat-sinar-x-dan.html>
- Różyło-Kalinowska, I. 2021. *Panoramic radiography in dentistry. Clinical Dentistry Reviewed*, **Vol. 5, No. 26, Desember 2021**: 1–10.
- Saidu, A., Bello, G., Nouhou, I., Danfulani, M., Danyelwa, I. Y., Arewa, S. P., Ogunsina, S. A., Birchi, H. S., dan Bala, A. 2020. *Evaluation of Beam Alignment Collimation*,

Reproducibility and Accuracy of Diagnostic X-Ray Machines at Public and Private Hospitals in Sokoto Metropolis. IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS), Vol. 19, No. 5, Mei 2020: 18–24.

- Sari, K., Surahmi, N., dan Supriyanti. 2023. Uji Kolimator Antara Lapangan Penyinaran Dengan Berkas Radiasi Yang Dihasilkan Pada Pesawat Sinar-X Konvensional Di Instalasi Radiologi. PERISAI: Jurnal Pendidikan Dan Riset Ilmu Sains, **Vol. 2, No. 2, Juni 2023: 280–290.**
- Shihab, M. Q. 2005. *Tafsir Al Mishbah Jilid 6* (6th ed.). Lentera Hati. Jakarta.
- Siahaan, F. M. 2018. *Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi Umum*. Diakses pada 8 Agustus 2024 dari https://slidetodoc.com/uji-kesesuaian-pesawat-sinar-x-radiografi-umum-ferdinan/#google_vignette
- Southern Scientific. 2019. *Don't stress about calibration for X-ray QA*. Diakses pada 9 Agustus 2024 dari <https://www.southernscientific.co.uk/news/2019/07/dont-stress-about-calibration-for-x-ray-qa>
- Sriwahyuni. 2017. *Pengaruh Tegangan Tabung (kV) Terhadap Kualitas Citra Radiografi Pesawat Sinar-X Digital Radiography (DR) Pada Phantom Abdomen*. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, **Vol. 2, No. 2, Agustus 2017: 113–118.**
- Sudarsih, K., Rosidah, S., dan Budiwati, T. 2019. *Pelaksanaan Program Kendali Mutu Pesawat Sinar-X Di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung Semarang*. *Seminar Nasional Widya Husada 1*, **Vol. 1, No. 1: 25–31.**
- Sukaryono. 2015. *Kajian jenis-jenis dosimeter pada fasilitas iradiator*. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Akselerator dan Aplikasinya*, **Vol. 17, November 2015: 101–105.**
- Sukmawati, C. B., Arianto, F., dan Hidayanto, E. 2022. *Penentuan Dosis Serap Relatif Radiasi Sinar-X pada Radiografi Thorax dengan Variasi Periode Pemeriksaan Kesehatan menggunakan Aplikasi MCNPX*. *Berkala Fisika*, **Vol. 25, No. 1, Januari 2022: 7–13.**
- Susanti, R., Milvita, D., dan Sandy, K. Y. P. 2017. *Uji Kesesuaian Pesawat Fluoroskopi Intervensional merek Philips Allura FC menggunakan Detektor Unfors RaySafe X2 di Rumah Sakit Universitas Andalas*. *Jurnal Fisika Unand*, **Vol. 6, No. 3, Juli 2017: 232–239.**
- Susanti, S. A., Sutapa, G. N., dan Iffah, M. 2022. *Estimasi Dosis Radiasi Sinar-X terhadap Efek Herediter pada Radiografi Konvensional*. *Kappa Journal*, **Vol. 6, No. 2: 312–324.**
- Swangi, J. A. 2021. *Analisis Uji Keluaran Sinar-X pada Tabung Pesawat X-Ray*. (Karya Tulis Ilmiah), Program Studi Diploma III Teknik Rontgen, Fakultas Kesehatan dan Keteknisian Medik, Universitas Widya Husada, Semarang.
- Syaifudin, M. 2023. *Biologi Radiasi : Dasar-dasar dan Aplikasi*. Penerbit BRIN. Jakarta.

- Thermo Scientific. 2012. *RadEye Selection Guide: Handheld Detection for Any Scenario*. Thermo Scientific.
- Tohiri, N., dan Muttaqin, A. 2022. *Uji Kesesuaian Kinerja Generator dan Tabung Pesawat Sinar-X Merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas*. Jurnal Fisika Unand, **Vol. 11, No. 1, Januari 2022**: 37–43.
- Ulhaq, A. J. 2019. *Pengaruh Paparan Radiasi Radiografi Panoramik Digital Terhadap Curah Saliva*. (Tesis), Program Studi Pendidikan Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi, Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang.
- Umbar, T. 2012. *Alat Deteksi dan Pengukuran radiasi*. (Laporan Praktikum), Jurusan Teknokimia Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Yogyakarta.
- Utami, N. W. M. S. U., Ratini, N. N., dan Juliantara, I. P. E. 2022. *Pengaruh Kombinasi Arus Tabung Sinar-X dan Waktu Eksposi Terhadap Contrast to Noise Ratio (CNR) dengan menggunakan Computed Radiography*. Buletin Fisika, **Vol. 23, No. 1, Februari 2022**: 26–33.
- Violeta S, C. 2018. *Laporan Panoramic*. Diakses pada 4 Mei 2024 dari https://www.scribd.com/document/370709263/Laporan-Panoramic?_gl=1*gj0vz9*_gcl_au*OTc3MTE4MTU2LjE3MTE2ODQ4NDM.
- Wendri, N. 2016. *Mengukur Tegangan, Arus, dan Waktu Terhadap Pemeriksaan Radiologi dengan Menggunakan Radiasi Sinar-X*. (Karya Tulis Ilmiah), Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali.
- Whaites, E., dan Drage, N. 2021. *Essentials of Dental Radiography and Radiology* (6th ed.). Elsevier Limited.
- Wiharja, U., dan Al Bahar, A. K. 2019. *Analisa Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiografi*. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2019, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, **Vol. 1, No. 1, Oktober 2019**.