

*Hasil Penelitian*

**ANALISIS KELUARAN RADIASI PADA PESAWAT SINAR-X  
FLUOROSKOPI DUAL FUNGSI DI R.S. WAHIDIN SUDIROHUSODO  
MAKASSAR**

**NUR HIKMAH INDAH**

**H021 18 1307**



**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**ANALISIS KELUARAN RADIASI PADA PESAWAT SINAR-X  
FLUOROSKOPI DUAL FUNGSI DI R.S. WAHIDIN SUDIROHUSODO  
MAKASSAR**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
Pada Program Studi Fisika Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin*

**NUR HIKMAH INDA  
H021181307**

**DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**ANALISIS KELUARAN RADIASI PADA PESAWAT SINAR-X**  
**FLUOROSKOPI DUAL FUNGSI DI R.S. WAHIDIN SUDIROHUSODO**  
**MAKASSAR**

Disusun dan diajukan oleh:

**NUR HIKMAH INDAH**  
**H021181307**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin  
Pada 21 Mei 2023

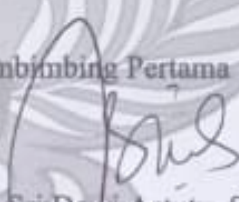
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,


Pembimbing Utama

  
Prof. Dr. Syamsir Dewang, MS  
NIP. 19630111 199002 1 002

Pembimbing Pertama

  
Dr. Sri Dewi Astuty, S.Si, M.Si  
NIP. 19750513 199903 2 001

Ketua Program Studi,

  
Prof. Dr. Arifin, M.T  
NIP. 19670520 199403 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : NUR HIKMAH INDAH

NIM : H021181307

Program Studi : Fisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**ANALISIS KELUARAN RADIASI PADA PESAWAT SINAR-X  
FLUOROSKOPI DUAL FUNGSI DI R.S. WAHIDIN SUDIROHUSODO  
MAKASSAR**

Adalah karya tulis berdasarkan hasil pemikiran dan penelitian saya, bukan merupakan hasil pengambil alihan tulisan maupun pemikiran orang lain. Jika terdapat karya orang lain dalam skripsi ini, maka akan dicantumkan sumber yang benar dan jelas. Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, jika dikemudian hari terdapat ketidakbenaran dan penyimpangan dalam pernyataan ini, maka saya berhak menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Mei 2023

Menyatakan



**Nur Hikmah Indah**

**H021181307**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabiil'alamiin puji dan syukur penulis panjat kan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah nya, berupa nikmat kesehatan dan kesempatan sehingga penulis berhasil menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “**Analisis Keluaran Radiasi Pada Pesawat Sinar-X Fluoroskopi Dual Fungsi di R.S. Wahidin Sudirohusodo Makassar**”. Berbagai upaya telah dilakukan penulis untuk menyelesaikan penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar sarjana di program studi Fisika, Fakultas matematika dan ilmu pengetahuan alam Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini banyak kesulitan dan hambatan yang dihadapi dan tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak sehingga penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Namun atas kehendak nya hambatan tersebut berhasil dilalui oleh penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. **Prof. Dr. Syamsir Dewang, M.Eng,Sc.** selaku pembimbing utama dan Ibu **Dr. Sri Dewi Astuty, M.Si.** selaku pembimbing pertama yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaga nya dalam memberikan bimbingan, memberikan arahan, memberikan dukungan serta motivasi dan kepercayaan kepada penulis untuk berpikir kritis dan logis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi.
2. **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng. Sc,** dan Bapak **Eko Juarlin, S.Si, M.Si, M.Sc.** selaku dosen penguji yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga nya untuk memberikan masukan dan saran yang membangun terkait penelitian dan kesempurnaan skripsi ini.
3. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin jompa, M,Sc.** selaku rektor Universitas Hasanuddin.
4. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin** selaku Dekan Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
5. **Prof. Dr. Erifin, M,T** selaku kepala Program Studi Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Univertsitas Hasanuddin.

6. **Seluruh dosen** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah membagikan ilmunya dan membimbing penulis selama masa studi untuk memperoleh pengetahuan yang luas dan bermanfaat kepada penulis.
7. **Seluruh staff** departemen dan fakultas atas segala fasilitas dan pelayanan yang diberikan kepada penulis selama menempuh studi hingga penelitian dan penyusunan skripsi ini.
8. **Pegawai R.S Wahidin Sudirohusodo**, baik kepada pihak diklat dan terkhusus kepada **Pegawai Instalasi Radiologi (Pak Putwanto, Pak Aris, Kak Bungan)**, yang senantiasa sabar memberikan bimbingan, saran dan masukan serta meluangkan waktunya membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian di Rumah Sakit di tengah kesibukan dalam menjalankan tugas.
9. Kepada kedua orang tua almarhum ayah tercinta **Dr. Lantu, M.Eng. Sc. DESS** dan ibunda tersayang **Sari Winarningsih** yang telah membimbing penulis dari kecil, tidak pernah lelah merawat dan memberikan dukungan kepada penulis baik secara mental maupun material. Semoga arwah almarhum ayah diterima di sisi-Nya, dan semoga ibu diberikan nikmat dan kesehatan yang panjang, Amiin.
10. Saudara-saudara penulis (**Yulia Permatasari, Muh Taufik Dwi Putra, dan Novita Kumala Putri**) atas doa dan dukungan serta motivasi yang telah diberikan kepada penulis.
11. Teman-teman seperjuangan penulis (**Dena, Suci dan Milda**) yang selalu menemani dan direpotkan dalam membantu penulis memberikan solusi dukungan dan semangat kepada penulis serta menjadi pendengar yang baik untuk setiap keluh kesah penulis, terkhusus **milda** yang telah menjadi partner dalam melakukan penelitian telah banyak menemani dan membantu penulis selama proses penelitian dan penyusunan skripsi.
12. Anggota grup ciwi-ciwi buket (**Suci, Anti, Cunni, Fatimah, Citra, Firda, Riska, Uly, Azizah, Dena, dan Milda**) atas dukungan, bantuan serta motivasi dan waktu yang telah dilewati bersama pada saat proses penyusunan skripsi penulis.
13. Teman penulis grup 23 kaya raya (**Rahma dan Nade**) yang telah memberikan dukungan, motivasi dan bantuan serta menjadi pendengar yang baik setiap

penulis berkeluh kesah juga menjadi teman healing penulis di kala penat.

14. Seluruh **Fisika Unhas angkatan 2018** telah melalui waktu bersama dan memberikan banyak dukungan, motivasi serta bantuan selama masa studi. Semoga kita semua sukses di masa mendatang dan silaturahmi diantara kita tetap terjalin.
15. Seluruh **Himafi 18** yang telah banyak melewati suka duka bersama dan memberikan dukungan serta mengajarkan arti kebersamaan dari masa pengumpulan hingga saat ini.
16. Kakak **Himafi 2017** terima kasih atas dukungan dan motivasi yang telah diberikan. Terkhusus **Kak Ate** terima kasih atas masukan-masukan dan dukungan yang telah diberikan serta telah menjadi senior terbaik untuk penulis, semangat menjalani pendidikan S3 nya.
17. Adik-adik **Himafi 2019 dan Himafi 2020** terima kasih atas dukungan dan motivasi yang diberikan.
18. Seluruh anggota grup INTO1 terkhusus kepada **Patrick** yang telah memberikan penulis semangat dan meningkatkan motivasi serta menemani hari-hari membosankan penulis terima kasi atas dukungan yang tidak kalian sadari yang telah kalian berikan untuk penulis.
19. Seluruh kakak-kakak GMM terkhusus (**Singto, kris, Off, gun, Tawa, New, Nanon, Ohm, bright, win dan chimon**) terima kasih telah menemani hari penulis dalam menyelesaikan skripsi serta menjadi teman di saat penat maupun lelah terima kasi atas dukungan yang tidak kalian sadari yang telah kalian berikan untuk penulis.
20. Untuk diri sendiri yang telah melewati banyak hal terima kasih telah bertahan sampai sejauh ini, serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dukungan serta doa sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.

Makassar, 22 Mei 2023

Nur Hikmah Indah

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b>	
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	4
I.3 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
II.1 Sinar-X .....	5
II.2 Fluoroskopi .....	6
II.3 Efek Radiasi Terhadap Manusia.....	8
II.4 Besaran dan Satuan Dasar Dosimetri .....	8
II.5 Uji Kinerja Pesawat Fluoroskopi .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>14</b>
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	14
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	14
III.3 Prosedur Penelitian .....	14
III.4 Bagan Alir Penelitian .....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>18</b>
IV.1 Akurasi Tegangan .....	18
IV.2 Reprodusibilitas .....	19
IV.3 Linieritas Keluaran Radiasi .....	22
IV.4 Laju Dosis ESD Tipikal .....	24



IV.5 Laju Dosis Maksimum di Udara .....	25
IV.6 Laju Dosis Serap Permukaan II .....	26
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>27</b>
V.1 Kesimpulan .....	27
V.2 Saran.....	28
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>29</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>32</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Sinar -X Karakteristik .....	<b>4</b>
<b>Gambar 2.1</b> Proses terbentuknya sinar-X Bremsstrahlung .....	<b>5</b>
<b>Gambar 2.1</b> Pesawat Fluoroskopi C-Arm dan Dual Fungsi.....	<b>6</b>
<b>Gambar 3.1</b> Bagan Alir Penelitian .....	<b>16</b>
<b>Gambar 4.2</b> Grafik hubungan antara kuat arus (kV) dan keluaran radiasi (ms)..	<b>22</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Faktor bobot radiasi $W_R$ .....	<b>10</b>
<b>Tabel 2.2</b> Nilai Faktor Bobot Organ Tubuh $W_t$ .....	<b>11</b>
<b>Tabel 2.1</b> Parameter uji dan nilai lolos uji pesawat fluoroskopi .....	<b>12</b>
<b>Tabel 4.1</b> Data hasil perhitungan uji kesesuaian akurasi tegangan .....	<b>17</b>
<b>Tabel 4.2</b> Data hasil perhitungan nilai CV pada uji kesesuaian reproduksibilitas tegangan dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022 .....	<b>18</b>
<b>Tabel 4.3</b> Data hasil perhitungan nilai CV pada uji kesesuaian reproduksibilitas waktu penyinaran dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022 .....	<b>19</b>
<b>Tabel 4.4</b> Data hasil perhitungan nilai CV pada uji kesesuaian reproduksibilitas keluaran radiasi dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022 .....	<b>19</b>
<b>Tabel 4.5</b> Data hasil perhitungan nilai linieritas keluaran radiasi (CL) dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022 .....	<b>21</b>
<b>Tabel 4.6</b> Data hasil pengukuran Laju ESD Tipikal pada pesawat sinar-X Fluoroskopi dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022 .....	<b>23</b>
<b>Tabel 4.7</b> Data hasil pengukuran Laju Dosis Maksimum di udara pada pesawat sinar-X Fluoroskopi dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022...	<b>23</b>
<b>Tabel 4.8</b> Data hasil pengukuran Laju Dosis Serap Permukaan II pada pesawat Sinar-X Fluoroskopi dan nilai lolos uji BAPETEN no.2 tahun 2022..	<b>24</b>

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Data Pengukuran Akurasi Tegangan dan Reprodusibilitas .....	<b>30</b>
<b>Lampiran 2</b> Data Pengukuran Linieritas Keluaran Radiasi.....	<b>30</b>
<b>Lampiran 3</b> Data Nilai Batas Lolos Uji Uji Kesesuaian Perka Bapeten No.2 Tahun 2022 .....	<b>32</b>

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja generator tabung pesawat X-Ray Fluoroscopy Dual Function Merk APELEM S.A di instalasi radiologi RSUP Wahidin Sudirohusodo Makassar terhadap nilai laju dosis ESD tipikal, laju dosis maksimum di udara dan laju dosis permukaan *Image Intensifier*. Analisis dilakukan berdasarkan indikator perubahan faktor eksposi dan pemilihan mode fungsi pesawat. Beberapa parameter yang menjadi variabel pendukung adalah uji akurasi tegangan, uji reproduksibilitas keluaran radiasi, uji linieritas kuat arus terhadap keluaran radiasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan pada akurasi tegangan, nilai koefisien variasi (CV) tegangan 65, 75 dan 85 berturut-turut diperoleh 0,31%, 2,08% dan 2,21%. Pada uji reproduksibilitas terhadap variasi tegangan sebesar 0,0048; terhadap variasi waktu eksposi sebesar 0,0314 dan terhadap variasi keluaran radiasi sebesar 0,0105. Hasil analisis laju dosis pada tiga parameter yaitu laju dosis ESD tipikal diperoleh nilai maksimum sebesar 0,0038 mGy/s, laju dosis maksimum di udara sebesar 0,1248 mGy/s serta laju dosis permukaan *Image Intensifier* didapatkan 0,0219  $\mu$ Gy/s. Semua parameter yang diuji pada pesawat X-Ray Fluoroscopy Dual Function Merk APELEM S.A sesuai standar lolos uji yang ditetapkan dalam Perka BAPETEN No. 2 Tahun 2022, sehingga dapat disimpulkan pesawat dalam kondisi layak untuk digunakan secara rutin.

**Kata kunci:** *fluoroskopi, laju dosis ESD tipikal, laju dosis maksimum di udara, dan laju dosis permukaan Image Intensifier*

## ABSTRACT

This research aims to analyze the performance of the APELEM S.A Brand X-Ray Fluoroscopy Dual Function aircraft tube generator in the radiology installation of RSUP Wahidin Sudirohusodo Makassar on typical ESD dose rates, maximum airborne dose rates and Image Intensifier surface dose rates. The analysis was carried out based on indicators of changes in exposure factors and the selection of aircraft function modes. Several supporting parameters are voltage accuracy test, radiation output reproducibility test, current strength linearity test for radiation output. The results obtained show the accuracy of the voltage, the value of the coefficient of variation (CV) of voltage 65, 75 and 85 respectively obtained 0.31%, 2.08% and 2.21%. In the reproducibility test for voltage variations of 0.0048; to variations in exposure time of 0.0314 and to variations of radiation output of 0.0105. The results of the analysis of dose levels for three parameters, namely typical ESD dose levels obtained a maximum value of 0.0038 mGy/s, maximum dose levels in air of 0.1248 mGy/s and surface dose levels of Image Intensifier obtained 0.0219  $\mu$ Gy/s. All parameters tested on the APLEM S.A Brand X-Ray Fluoroscopy Dual Function aircraft comply with the test pass standards stipulated in BAPETEN Regulation No. 2 of 2022, so that aircraft can be achieved in proper condition for routine use.

**Keyword:** *fluoroscopy, typical ESD dose rate, maximum airborne dose rate, and Image Intensifier surface dose rate*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Sinar-X pertama kali ditemukan pada tahun 1895 oleh Wilhelm Conrad Roentgen. Sinar-X telah di manfaatkan dalam kehidupan sehari-hari dan terus mengalami perkembangan. dalam bidang kesehatan dapat dimanfaatkan untuk keperluan radiodiagnosis, radioterapi, dan kedokteran nuklir. Penemuan sinar-X menjadi tonggak penting bagi perkembangan bidang radiologi [1]. Salah satu contoh penerapan sinar-X dalam dunia medis yaitu modalitas klinis sinar-X fluoroskopi.

Penggunaan pesawat sinar-X fluoroskopi untuk memperoleh hasil citra dalam bentuk statis maupun dalam bentuk video dari struktur organ pasien secara *real-time*. Sistem dalam fluoroskopi mengandalkan sifat tembus sinar-X dan penangkapan bayangan oleh suatu tabir yang bersifat luminesensi bila terkena paparan sinar tersebut. Pada umumnya dokter menggunakan metode ini dalam berbagai prosedur diagnostik secara intervensional. Sinar-X yang melewati tubuh pasien membuat gambar pada detektor, lalu diteruskan ke monitor untuk kemudian diamati langsung oleh dokter. Meskipun menggunakan dosis yang relatif rendah tetapi membutuhkan waktu eksposi yang panjang karena pemeriksaan secara *real time* dan membutuhkan penangkapan target yang akurat, sehingga paparan kumulatif radiasi yang diterima pasien cukup tinggi [1,2]. Selain penerapan teknik fluoroskopi menggunakan waktu paparan yang lama akibat target organ yang dinamis, jumlah dan detail citra yang dihasilkan juga akan memberi kontribusi tingginya dosis paparan radiasi yang diterima pasien [3].

Dosis radiasi yang diterima oleh pasien dapat mengakibatkan efek deterministik dari radiasi pengion baik radiasi secara langsung maupun tidak langsung [4]. Pada saat pengoperasian sinar-X selama pemeriksaan fluoroskopi misalnya dengan arus tabung kurang dari 50 mAs, tetapi dosis yang diterima pasien akan lebih besar dibandingkan pemeriksaan radiografi yang lain. Hal ini dipengaruhi oleh lamanya pemancaran sinar-X oleh tabung pesawat fluoroskopi dibandingkan dengan tabung pesawat sinar-X yang lain. Jumlah energi radiasi sinar-X yang dikeluarkan selama penyinaran dipengaruhi oleh tegangan puncak

tabung pesawat (pengaturan kVp) yang bergantung pada besar kecilnya pasien yang akan diperiksa [1].

Untuk memastikan bahwa pengoperasian pesawat memenuhi persyaratan proteksi radiasi dan memberikan informasi diagnostik yang akurat dan tepat, perlu dilakukan uji kesesuaian yang diharapkan dapat memberikan estimasi terbaik terhadap parameter uji kesesuaian [5]. Hasil pengukuran diharapkan dapat memenuhi standar parameter atau batas toleransi uji kesesuaian agar dapat menjadi pedoman bagi pemilik fasilitas dalam mengambil tindakan terbaik seperti perbaikan peralatan atau sehingga pasien tidak mendapat paparan yang berlebihan [6,7].

Aswad, dkk (2018) meneliti tentang “Studi Quality Control (QC) Pesawat Fluoroscopy (Angiografi) menggunakan Multimeter RaySafe (X2) dan Black Piranha RTI” telah melakukan pengukuran akurasi tegangan tabung (kVp), waktu fluoroskopik maksimum, uji kualitas berkas/half value layer (HVL), linearitas keluaran (mGy/mAs), laju dosis permukaan II, dan kualitas citra. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian generator dan tabung pesawat sinar-X masih dalam batas toleransi yaitu 1,4 %. Nilai maksimum laju dosis pasien tipikal 14,3 mGy/min, dan laju dosis serap reseptor citra sebesar 67,8 mGy/min untuk pengukuran menggunakan 20 cm phantom polymethyl methacrylate (PMMA) yang dioperasikan pada mode dosis normal dan dosis tinggi [2].

Banihashemi, dkk (2020) meneliti *Quality control assessment of Philips digital radiography and comparison with Spellman and Samsung systems in Tehran Oil Ministry Hospital* dengan menggunakan phantom Pehamed, dosimeter Piranha, dan tiga perangkat radiologis dari tiga perusahaan berbeda Samsung, Spellman, dan Philips. HVL untuk Al diukur pada 2,85 mm di atas kualitas penyinaran. HVL meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan. Koefisien variasi (CV) dan fluktuasi kebisingan dihitung berdasarkan tegangan yang disesuaikan, waktu penyinaran, dan dosis keluaran. Pada 100 mA, CV maksimum dosis keluaran adalah 0,0074 untuk 90 kVp - 80 ms. [8]

Berdasarkan hal tersebut, perlu untuk memastikan bahwa pesawat sinar-X fluoroskopi harus memenuhi standar untuk digunakan dalam operasional melalui uji kinerja terkait keluaran dosis yang meliputi uji laju dosis pasien berupa laju dosis ESD tipikal, laju dosis maksimum di udara dan laju dosis permukaan II. Uji kinerja



terkait generator dan tabung pesawat sinar-X fluoroskopi dilakukan uji akurasi tegangan, uji linieritas dan uji reproduksibilitas. Parameter dan kuantitas yang diuji di atas, dilakukan dengan variasi nilai tegangan tabung dan nilai arus tabung.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah keluaran radiasi pesawat sinar-X fluoroskopi mode radiografi untuk mendapatkan uji akurasi tegangan tabung dan uji reproduksibilitas?
2. Bagaimanakah keluaran radiasi pesawat sinar-X fluoroskopi untuk mendapatkan uji linieritas dengan variasi arus pada tabung pesawat fluoroskopi?
3. Bagaimanakah nilai laju dosis pesawat sinar-X fluoroskopi dan tingkat kesesuaian laju dosis dengan standar lolos uji yang telah ditetapkan?

## **I.2 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai *error* dan *coeffisien variate (CV)* dalam uji akurasi tegangan dan reproduksibilitas pesawat fluoroskopi.
2. Menganalisis keluaran radiasi sinar-X fluoroskopi dan konsistensi kenaikan nilai keluaran radiasi melalui uji linieritas berdasarkan variasi arus tabung pesawat fluoroskopi.
3. Menganalisis nilai laju dosis pesawat sinar-X fluoroskopi serta tingkat kesesuaiannya terhadap standar lolos uji yang ditetapkan BAPETEN.

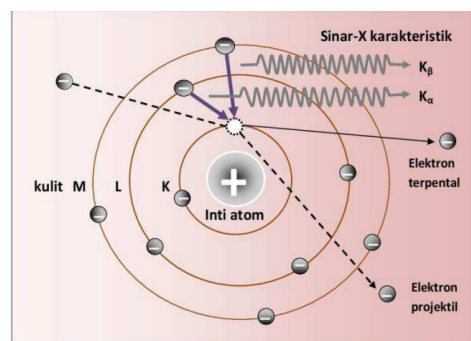
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Sinar-X

Pada dasarnya sinar-X adalah pancaran elektron dari katoda ke anoda yang termasuk dalam gelombang elektromagnetik. Sinar-X memiliki panjang gelombang dari 1 nm sampai 10 nm, sehingga sinar-X memiliki daya tembus yang sangat tinggi. Sinar-X dapat terjadi jika terdapat beda potensial arus searah yang besar antara dua elektroda (katoda dan anoda) dalam tabung vakum. Menurut Wihono (1986:6.28), sinar-X adalah foton berenergi tinggi yang dihasilkan dengan membombardir suatu target dengan elektron berenergi tinggi. Sinar-X merupakan bagian dari gelombang elektromagnetik dengan energi yang relatif tinggi, sehingga memiliki daya tembus yang tinggi, bahkan dapat menembus lapisan logam. Sinar-X dapat dibagi menjadi sinar-X karakteristik dan sinar-X karakteristik. [9].

Sinar-X karakteristik dapat dihasilkan oleh perpindahan elektron dari satu orbit dengan tingkat energi yang lebih tinggi ke yang lain dengan tingkat energi yang lebih rendah. Transisi sangat spesifik tergantung pada jenis atom, dan sinar-X yang dipancarkan dapat digunakan untuk menggambarkan atau mengidentifikasi atom yang memancarkannya.

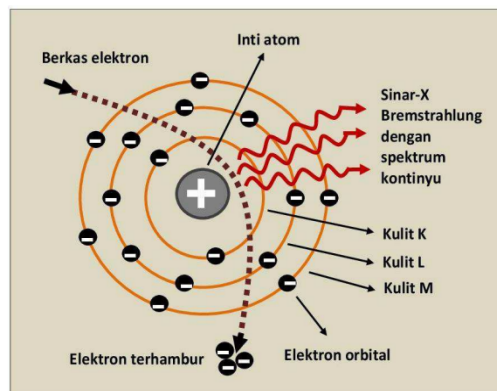


**Gambar 2.1** Sinar -X Karakteristik [1]

Adakalanya sinar-X karakteristik terjadi karena elektron dari atom kulit K keluar. Sehingga jika terjadi kekosongan pada kulit K maka akan segera diisi oleh elektron dari kulit atas. Jika kekosongan pada kulit K diisi oleh elektron dari kulit

L, sinar-X karakteristik  $K_{\alpha}$  akan dipancarkan. Jika kekosongan diisi oleh elektron dari kulit M, sinar-X karakteristik  $K_{\beta}$  akan dipancarkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar II.1. Karena setiap atom memancarkan sinar-X karakteristik dengan energi yang berbeda, energi sinar-X karakteristik yang dipancarkan dapat digunakan untuk menentukan jenis atom yang memancarkan nya [1].

Sinar-X Bremsstrahlung terjadi ketika apabila elektron yang bergerak dengan kecepatan yang cukup tinggi bertabrakan dengan atom suatu bahan. Energi dalam inti atom bermuatan positif dan elektron bermuatan negatif, sehingga terjadi hubungan tarik-menarik antara inti atom dengan elektron. Ketika sebuah elektron mendekati inti atom dengan medan energi yang cukup besar untuk ditembus oleh elektron proyektil, medan energi dalam inti atom memperlambat gerak energi proyektil. Penurunan kecepatan elektron peluru akan menyebabkan elektron peluru kehilangan energi dan berubah arah. Energi yang hilang oleh elektron yang dikeluarkan ini disebut foton sinar-X bremsstrahlung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 [9].



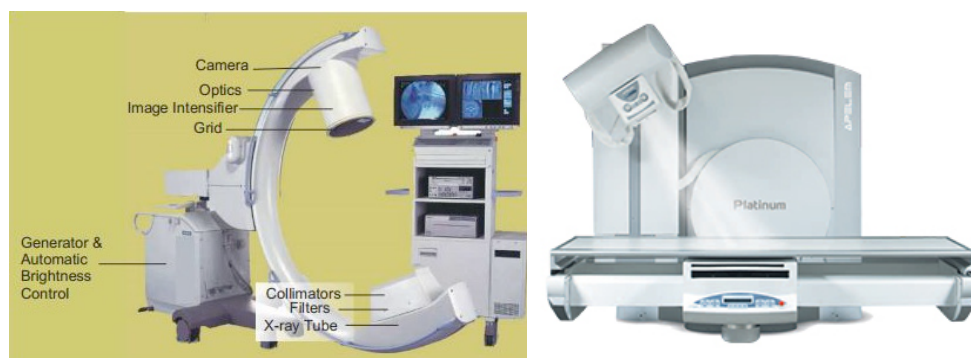
**Gambar 2.2** Proses terbentuknya sinar-X Bremsstrahlung [1]

## II. 2 Fluoroskopi

Fluoroskopi sinar-X dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu fluoroskopi konvensional dan fluoroskopi intervensional. Fluoroskopi konvensional merupakan pesawat sinar-X yang dilengkapi dengan layar penguat citra yang biasanya digunakan untuk keperluan dianosting. Sementara itu, fluoroskopi intervensional C-arm adalah perangkat sinar-X yang dilengkapi dengan layar

penguat citra dan digunakan untuk melihat gambaran atau objek secara langsung (*real-time*) pada di tubuh. Fluorokopi merupakan cara pemeriksaan dengan mengandalkan sifat tembus pandang sinar-X dan penangkapan bayangan oleh tabir surya yang memiliki sifat luminisensi jika terkena paparan sinar-X. Pada umumnya pemeriksaan ini digunakan untuk studi visual atau secara langsung ketika bayangan laten jatuh pada layar fluoroskopi menjadi bayangan permanen pada film atau spot film. Pengaplikasian fluoroskopi dalam bidang medik digunakan untuk memvisualisasikan Gerakan dari struktur-struktur organ internal dalam tubuh [1].

Fluoroskopi pada dasarnya diperlukan untuk menyelidiki fungsi dari pergerakan yang dilakukan oleh suatu organ atau system tubuh manusia. Diagnosa yang diberikan oleh fluoroskopi merupakan diagnosa aktif selama berjalannya pemeriksaan. Umumnya pemeriksaan fluoroskopi juga digunakan untuk mengonservasi dan mengevaluasi fungsi fisiologis tubuh yang bergerak. Seperti jalannya barium di dalam traktus digestivus, proses menelan, penyuntikan zat kontras pada sistem biliary, dan lain-lain [2].



**Gambar 2.3** Pesawat Fluoroskopi C-Arm dan Dual Fungsi [1]

Peralatan pesawat sinar-X yang utama terdiri dari generator, tabung sinar-X, penguat citra (image intensifier), panel control, dan monitor citra. Pada saat pemeriksaan tabung sinar-X diletakkan di bawah pasien yang berada di meja pemeriksaan. Terdapat penguat bayangan dan detektor serta perangkat pencitraan lainnya di atas meja pemeriksaan. Namun terdapat juga beberapa tipe pesawat fluoroskopi yang memiliki tabung sinar-X yang terletak di atas pasien dan penguat citra berada di bawah meja pemeriksaan [2].

## II. 3 Efek Radiasi Terhadap Manusia

Selain dapat memberikan manfaat bagi dunia kedokteran, pemanfaatan radiasi pegan sinar-X juga berpotensi memberikan efek yang merugikan bagi orang sekitar seperti pekerja, pasien dan masyarakat. Oleh karena itu pemanfaatan radiasi pegan harus tetap di pantau oleh pekerja radiasi dan diusahakan agar nilai dosis radiasi harus serendah mungkin agar tidak melampaui nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan [10].

Tubuh manusia yang terkena radiasi dapat menerima kerugian yang diakibatkan oleh paparan radiasi mulai dari yang paling ringan hingga yang fatal. Hal ini bergantung pada beberapa faktor yaitu jenis radiasi, lamanya penyinaran, jarak sumber dengan tubuh dan ada tidaknya penghalang. Efek biologis yang diterima oleh tubuh manusia tergantung pada bagian dari organ tubuh yang terkena radiasi, pola transfer yang terjadi di dalam tubuh dan kualitas radiasi, faktor modifikasi lainnya misalnya fraksinasi dosis, besarnya dosis dan distribusi zat radioaktif di dalam tubuh. Berdasarkan dari dosis radiasi dimana hal tersebut untuk kepentingan proteksi radiasi, efek radiasi dapat dibedakan menjadi efek stokastik dan non stokastik (*deterministic*) [11].

### II.3.1 Efek Stokastik

Efek stokastik adalah efek dapat terjadi pada tubuh tanpa adanya nilai ambang dosis yang diterima oleh tubuh. Besar kecil nya radiasi yang diterima akan tetap berkemungkinan menimbulkan resiko efek radiasi, efek yang terjadi pada tubuh penerima paparan akan sebanding dengan dosis yang diterima karena efek radiasi yang muncul tidak memiliki dosis ambang batas yang dapat menjamin keamanan sinar-X. Efek stoastik dapat terjadi walaupun tidak melebihi nilai batas radiasi yang telah ditetapkan. Efek stokastik merupakan probabilitas yang berarti efek yang ditimbulkan akan meningkat seiring dengan dosis yang diterima [11,12]. Efek ini berkaitan dengan penggunaan semua radiasi ionisasi dalam radiologi diagnostik sehingga alasan sehingga menjadi dasar utama dalam proteksi umum terhadap radiasi. Efek stotastika yang menjadi perhatian utama pada radiologi diagnostik yaitu kanker dan efek genetik dikarenakan terlambat nya efek radiasi yang muncul bahkan bisa sampai bertahun-tahun setelah terkena paparan radiasi [12].

### II.3.2 Efek *non stochastic* (deterministik)

Efek *non stochastic* deterministik merupakan efek yang dapat terjadi akibat dosis yang diterima oleh tubuh melebihi nilai dosis ambang (*threshold dose*) dengan tingkat kerusakan yang diterima tergantung pada dosis yang diterima, namun hanya terjadi jika dosis yang diterima melebihi nilai ambang batas yang ditetapkan sehingga nilai yang memenuhi nilai ambang tidak akan terlihat akibat yang merugikan [10,11].

Efek deterministik didapatkan dari kehilangan sel yang terkena efek dari radiasi misalnya hilangnya beberapa sel yang terkena efek radiasi tidak mempengaruhi sebagian besar organ atau jaringan, tetapi jika sel yang hilang dalam jumlah yang cukup besar, maka kerusakan yang ditimbulkan dapat diamati. Hilangnya fungsi jaringan atau organ atau jaringan tubuh yang diakibatkan oleh paparan radiasi yang melebihi nilai dosis ambang yang telah ditentukan, tingkat resiko kerusakan yang timbulkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis, efek yang ditimbulkan bervariasi tergantung dari dosis yang diterima. Efek deterministik terjadi tidak lama setelah terkena paparan biasanya terjadi dalam beberapa jam atau beberapa hari setelah paparan, misalnya akan terjadi reaksi awal pada kulit dan dalam beberapa bulan atau tahun dapat juga menimbulkan reaksi pengembangan katarak pada lensa mata [13].

## II. 4 Besaran dan Satuan Dosimetri Radiasi

Ilmu yang mempelajari mengenai berbagai besaran dan dosis radiasi dapat diartikan sebagai dosimetri radiasi. Sedangkan pengertian dosis radiasi adalah kuantisasi pada proses yang ditinjau dari akibat sinar radiasi yang mengenai suatu materi [14].

### II. 4.1 Paparan

Paparan radiasi adalah kemampuan sinar-X untuk menyebabkan ionisasi dan digunakan untuk menggambarkan sifat emisi sinar-X dari sumber radiasi. Paparan merupakan besaran untuk menyatakan intensitas sinar-X yang dapat menghasilkan ionisasi dalam jumlah tertentu di udara. Berdasarkan definisi tersebut, maka eksposur (E) dapat dirumuskan sebagai [15]:

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (2.1)$$

dengan  $dQ$  adalah jumlah muatan elektron yang dihasilkan dari akibat interaksi di udara antara foton dengan atom-atom dalam volume udara yang bermassa  $dm$  jadi  $dm$  merupakan massa udara. Satuan paparan merupakan satuan coulomb per kilogram-udara ( $C/kg^{-1}$ ) atau Roentgen disingkat R.

#### II. 4.2 Dosis Serap dan Laju Dosis

Dosis serap merupakan jumlah energi rata-rata yang diserahkan oleh radiasi pengion dan diserap ke materi persatuan massa. Dosis serap tersebut tidak berlaku pada medium makhluk hidup menjadi kelemahan dari dosis serap ini, tetapi dalam hal ketahanan radiasi, dosis serap merupakan besaran primer. Satuan Rad telah diubah menjadi Gray (Gy) dimana 1 Gy sama dengan 100 Rad. Dosis serap dirumuskan sebagai berikut [15]:

$$D = \frac{dE_{ab}}{dm} \quad (2.2)$$

Dengan:

- D = dosis serap (Gy)
- $dE_{ab}$  = energi yang diserap (joule)
- $dm$  = massa objek (kg)

Laju dosis serap merupakan besarnya dosis serap oleh materi atau bahan per setiap waktu besarnya laju dosis dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (2.2a)$$

Dengan:

- $\dot{D}$  = laju dosis serap (Gy/s)
- $dD$  = Perubahan dosis serap (Gy)
- $dt$  = perubahan waktu ekspose (s)

#### II. 4.3 Dosis Ekuivalen

Dalam proteksi radiasi, dosis ekuivalen adalah besarnya dosis yang digunakan dalam proteksi radiasi dengan memperhitungkan kemampuan radiasi yang berpotensi mengakibatkan kerusakan organ atau jaringan akibat radiasi. Dosis ekuivalen yang digunakan terutama berkaitan dengan efek radiasi pada tubuh

manusia atau sistem biologis lainnya. Apapun jenis radiasi selama nilai dosis ekuivalen nya sama akan menimbulkan efek biologis yang juga sama pada jaringan tertentu. Saat menghitung dosis ekuivalen, faktor-faktor tertentu menentukan kualitas radiasi yang bersangkutan. Kualitas radiasi ini meliputi jenis dan energi radiasi yang terlibat. ICRP 60 memperkenalkan kualitas radiasi sebagai faktor pembobotan untuk radiasi  $W_R$ . Dosis ekuivalen pada organ T yang menerima penyinaran radiasi R ( $H_{T,R}$ ) ditentukan melalui persamaan [16]:

$$H_{T,R} = W_R \cdot D_{T,R} \quad (2.3)$$

Dengan  $H_{T,R}$  merupakan dosis ekuivalen  $D_{T,R}$  adalah dosis rata-rata yang diserap untuk daerah organ atau jaringan yang menerima radiasi R, sedangkan  $W_R$  adalah faktor berat radiasi R. Satuan dosis ekuivalen adalah rem, yang kemudian disubstitusi dimana nilai  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ .

**Tabel 2.1** Faktor bobot radiasi  $W_R$  [17]

No.	Jenis Radiasi	Faktor bobot radiasi $W_R$
1.	Foton	1
2.	Elektro	1
3.	Proton	2
4.	Alfa, fragmen, ion berat	20
5.	Neutron	Fungsi energi neutron

#### II. 4.4 Dosis Efektif

Besarnya laju dosis efektif pada suatu sel perlu dihitung untuk keperluan dari proteksi radiasi. Dikarenakan keperluan proteksi radiasi, besarnya laju dosis efektif pada suatu sel perlu dihitung. Dosis efektif merupakan turunan dari dosis ekuivalen dengan memperhatikan kepekaan organ terhadap radiasi, dan dikenal sebagai organ weight factor ( $W_i$ ) Dosis efektif dalam tubuh yang diradiasi dengan berat radiasi ditentukan oleh persamaan [16]:

$$E = H \cdot W_T \quad (2.4)$$

$$E = D \cdot W_T \cdot W_R \quad (2.5)$$

Dengan:

E = dosis efektif, satuannya Sievert (Sv),

H = dosis ekuivalen, satuannya Sievert (Sv)



$D$  = dosis serap, satuannya Gray (Gy)

$W_r$  = faktor bobot radiasi

$W_T$  = faktor bobot jaringan

sehingga dosis efektif juga memiliki satuan yang sama dengan dosis ekuivalen yaitu Sievert (Sv).

**Tabel 2.2** Nilai Faktor Bobot Organ Tubuh  $W_t$  [17]

No.	Organ atau Jaringan Tubuh	$W_t$
1.	Gonad	0,08
2.	Sumsum, tulang, usus besar, par-paru, lambung	0,12
3.	Payudara	0,12
4.	Kandung kemih, esophagus, hati, tiroid	0,04
5.	Permukaan tulang, kulit	0,01
6.	Otak, kelenjar lidah	0,01
7.	Organ lainnya	0,12
	Total	1,00

## II. 5 Uji Kinerja Pesawat Fluoroskopi

Uji kinerja pada pesawat sinar-X radiologi diagnostik dan Intervensional yang disebut Uji Kinerja Pesawat Sinar-X adalah uji pemeriksaan untuk memastikan bahwa Pesawat Sinar- X dalam kondisi baik, andal untuk operasi radiologi diagnostik maupun intervensional dan untuk memenuhi persyaratan peraturan yang telah ditetapkan [18].

Pengukuran uji kesesuaian dimaksudkan untuk memberikan estimasi terbaik dari parameter uji kesesuaian. Hasil pengujian harus memenuhi nilai standar atau batas toleransi tertentu untuk memandu pemilik fasilitas mengambil tindakan terbaik seperti memperbaiki peralatan atau mengganti dengan pesawat baru. Uji Kecakapan Pesawat Udara Radiologi untuk Radiologi Diagnostik dan Intervensi diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 9 Tahun 2022 [19].

Adapun, batas toleransi uji kontrol kualitas pesawat fluoroskopi, menurut keputusan Kepala Bapeten No. 9 tahun 2011 yaitu sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Parameter uji dan nilai lolos uji pesawat fluoroskopi [19]

No	Parameter	Nilai Lolos Uji
I.	MODE RADIOGRAFI	
A.	Generator dan Tabung Sinar-X	
1.	Akurasi tegangan	$ error _{maks} \leq 10 \%$
2.	Akurasi waktu penyinaran	$ error _{maks} \leq 10 \%$
3.	Linieritas keluaran radiasi	Koefisien linieritas (CL) $\leq 0,1$
4.	Reproduksibilitas	
	a. keluaran radiasi (output)	Koefisien varian (CV) $\leq 0,05$
	b. tegangan puncak (kVp)	Koefisien varian (CV) $\leq 0,05$
	c. waktu penyinaran (ms)	Koefisien varian (CV) $\leq 0,05$
5.	Kualitas berkas sinar-X (HVL) <sup>a</sup>	HVL $\geq 2,3$ mmAl (80kVp)
6.	Kebocoran wadah tabung (L) <sup>b</sup>	$L \leq 1$ mGy dalam 1 jam
No.	Parameter	Nilai Lolos Uji
II.	MODE FLUOROSKOPI	
A.	<i>Entrance Dose Rates</i>	
1.	Laju dosis tipikal	$D_{tipikal} \leq 17$ mGy/menit
2.	Laju dosis maksimum di udara	
	(a) Mode normal	$D_{max} \leq 50$ mGy/menit
	(b) Mode High level	$D_{max} \leq 100$ mGy/menit
B.	Kualitas Citra	
1.	Kesesuaian lapangan berkas dgn monitor	$\Delta \leq 1,5 \%$ SID
2.	Laju dosis di permukaan reseptor citra	
	a) $11 \text{ cm} \leq \text{diameter image receptor} < 14 \text{ cm}$	$D \leq 120 \mu\text{Gy/menit}$
	b) $14 \text{ cm} \leq \text{image receptor} < 23 \text{ cm}$	$D \leq 90 \mu\text{Gy/menit}$
	c) $\text{image receptor} \geq 23 \text{ cm}$	$D \leq 60 \mu\text{Gy/menit}$