

Pengembangan Alat Peraga Simulator Mesin Sinar X sebagai Bahan Ajar Mata Kuliah Radiologi Dasar

AMA Jiwatami^{1,2}

¹Program Studi Teknologi Elektromedis Universitas Sanata Dharma, Paingan Maguwoharjo
Depok Sleman Yogyakarta

²E-mail: agatha.mahardika@usd.ac.id

Received: 6 Desember 2023. Accepted: 19 Maret 2024. Published: 1 April 2024

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengembangkan simulator mesin sinar x yang digunakan sebagai alat peraga dalam mata kuliah Peralatan Radiologi dan untuk mengetahui kualitas dan kelayakan simulator. Simulator ini dibuat sebagai media pembelajaran untuk melengkapi pemahaman mahasiswa dalam mempelajari pengoperasian mesin sinar x. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian pengembangan (*Research and Development*) dengan model pengembangan ADDIE. Uji kelayakan media pembelajaran dilakukan dengan presentase dari ahli materi 85% dan ahli media 83%. Hasil uji coba media pembelajaran kepada mahasiswa didapat persentase rata-rata dari semua indikator adalah 84,78% sehingga simulator mesin sinar x ini layak digunakan sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa. Media pembelajaran simulator mesin sinar x membantu mahasiswa untuk lebih memahami Langkah-langkah pengoperasian mesin sinar x.

Kata kunci: simulator mesin sinar x, alat peraga radiologi, penelitian pengembangan.

Abstract. This research aims to develop an x-ray machine simulator used as a teaching tool in the Radiology Equipment course and to determine the simulator quality and suitability. This simulator was created as a learning tool to complement students' understanding in learning how to operate an x-ray machine. The method used in this research is research and development with the ADDIE model. The learning media feasibility test was carried out with 85% material experts and 83% media experts. The testing results of this learning media with students showed that average percentage of all indicators was 84.78%, so this x-ray machine simulator is suitable as a learning media for students. The x-ray machine simulator learning media helps students for better understanding the steps operating an x-ray machine.

Keywords: x-ray machine simulator, learning media, research and development

1. Pendahuluan

Sejak ditemukannya sinar x tahun 1895 oleh Wilhelm Rontgen [1], radiologi berkembang pesat sebagai metode pencitraan tak merusak yang dapat digunakan untuk melihat bagian dalam obyek tanpa harus merusak. Pencitraan medis mengacu pada teknik dan pendekatan untuk membuat representasi visual dari organ dalam dan jaringan tubuh manusia [2]. Teknik ini sangat membantu terutama di dunia medis untuk diagnosis dan pengobatan berbagai penyakit maupun kelainan dalam tubuh seperti keretakan tulang [3], mendeteksi sumbatan pada pembuluh darah [4], diagnostic kanker payudara [5] radiografi panoramik [6] dan aplikasi medis lainnya.

Prosedur pencitraan radiografi berdasarkan pada prinsip dimana jenis jaringan yang berbeda akan menyerap intensitas radiasi sinar x yang berbeda. Proses ini memungkinkan terciptanya citra struktur internal tubuh. Aspek terpenting dalam pencitraan radiografi adalah untuk memastikan kualitas citra mencukupi untuk keperluan diagnostik. Parameter-parameter yang berperan untuk menghasilkan kualitas citra yang memadai diantaranya pemilihan tegangan pada tabung sinar x (kilovoltase), arus tabung filamen (milliampere) dan waktu paparan radiasi (detik) [7].

Pemilihan parameter tegangan, arus dan waktu selain berperan dalam pembentukan kualitas citra juga berpengaruh pada dosis radiasi yang diterima pasien. Pemilihan parameter yang tepat memungkinkan diperoleh kualitas citra yang baik namun tetap memperhitungkan dosis yang diterima pasien. Energi radiasi sinar x rendah dapat masuk ke tubuh pasien namun tidak memberikan kontribusi bagi kualitas citra sinar x karena diserap seluruhnya oleh jaringan. Untuk meminimalisir hal ini digunakan filter logam. Filter logam yang setara dengan 2,5 mm aluminium dipasang pada tabung sinar x untuk menyerap foton berenergi rendah [7].

Foton yang bisa melewati filter akan diteruskan ke jaringan tubuh pasien, selanjutnya foton yang ditransmisikan jaringan tubuh akan mengenai detektor dan terbentuk citra radiografi. Saat foton melewati jaringan tubuh akan ada interaksi antara foton dan jaringan. Proses yang paling berperan dalam pembentukan citra ini adalah efek fotolistrik dan hamburan Compton.

Efek fotolistrik merupakan interaksi radiasi yang terjadi jika foton memiliki energi yang lebih besar dari energi ikat electron dalam atom. Electron yang terlepas dari atom akan membawa sebagian energi kinetik E_K dari foton dimana E_K sebanding dengan energi foton $h\nu$ dikurangi energi ikat E_B yang diperlukan untuk melepaskan electron dari atom seperti pada persamaan (1). Elektron yang terlepas dari atom disebut foto-elektron [8].

$$E_K = h\nu - E_B \quad (1)$$

Kemungkinan terjadinya interaksi fotolistrik pada jaringan akan meningkat sejalan dengan jumlah atom yang terkandung dalam jaringan. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan struktur jaringan yang memiliki komposisi unsur berbeda. Pada film radiografi akan ditunjukkan oleh perbedaan kontras citra yang menunjukkan perbedaan koefisien atenuasi massa untuk tulang dan jaringan lunak[9]. Perbedaan kontras antar jaringan dapat menghasilkan citra yang lebih berkualitas untuk diagnostik lebih lanjut. Komponen penting yang mempengaruhi kualitas citra radiografi diantaranya kontras, rentang dinamis, resolusi spasial, noise dan artefak.

Noise pada citra radiografi dapat menurunkan kualitas citra radiografi [10]. Noise salah satunya disebabkan oleh hamburan Compton [11]. Hamburan Compton dipengaruhi oleh kepadatan jaringan dan tidak bergantung pada energi foton[12]. Pada proses ini foton sinar x kehilangan sebagian besar energinya dan dibelokkan dari jalur aslinya. Akibatnya akan menyebabkan noise pada citra. Efek lain dari hamburan foton akan menyebar dan berbahaya bagi petugas radiologi atau perawat karena radiasi foton merupakan radiasi pengion [13]. Sehingga perlu mengusahakan agar dosis yang diterima pasien tetap serendah mungkin (*As Low As Reasonably Achievable* – ALARA) namun tidak mengurangi kualitas citra radiografi [14].

Pemanfaatan radiasi pengion untuk radiografi pada dunia medis sangat membantu terutama untuk diagnosis penyakit, namun potensi bahaya pada kesehatan manusia juga meningkat apabila tidak digunakan dengan benar [15]. Penggunaan pesawat rontgen tidak bisa dilakukan sembarangan namun harus di bawah pengawasan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten)[16].

Sementara itu untuk menunjang pendidikan di bidang elektromedis, mahasiswa perlu belajar mengenai pengoperasian mesin rontgen. Selama ini pembelajaran menggunakan pesawat sinar x sulit dilakukan karena selain berbagai manfaat yang dimiliki, banyak yang harus diperhatikan dalam penggunaan pesawat rontgen. Masalah keamanan radiasi menjadi perhatian karena pesawat rontgen menghasilkan sinar x yang merupakan radiasi pengion. Salah satu upaya yang bisa dilakukan yaitu dengan menggunakan media pembelajaran [17].

Pengembangan media pembelajaran banyak dilakukan untuk mencapai tujuan pembelajaran. Media pembelajaran dapat mendukung terutama pada proses pembelajaran praktik. Pembelajaran praktik dalam memberikan pemahaman yang lebih jelas daripada teori [18]. Media pembelajaran interaktif mampu meningkatkan hasil belajar siswa yang merupakan salah satu tolok ukur keberhasilan proses pembelajaran [19]. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah alat peraga simulator sinar x sehingga mahasiswa dapat mengerti Langkah-langkah pengoperasian pesawat rontgen.

2. Metode

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah alat peraga pembelajaran pada mata kuliah Radiologi Dasar dengan fokus pada pengoperasian peralatan *General X-ray*. Penelitian ini merupakan jenis penelitian *Research and Development (R&D)*. Penelitian *Research and Development* merupakan jenis penelitian untuk mengembangkan suatu produk untuk mendapatkan solusi untuk mengaplikasikan pendidikan yang lebih inovatif dan menguji keefektifannya [20]. Penelitian ini dilakukan dengan mengaplikasikan model pengembangan ADDIE yang terdiri dari tahapan *Analysis* (analisis), *Design* (desain), *Development* (pengembangan), *Implementation* (implementasi) dan *Evaluation* (evaluasi) [21]. Model pengembangan ADDIE diterapkan agar alat peraga yang dihasilkan dari penelitian dan pengembangan penelitian ini dapat efektif dan efisien. Model ADDIE merupakan model pengembangan sistematis yang dirancang dengan prosedur-prosedur yang berurutan [22].

Tahapan yang dikembangkan dalam penelitian ini:

1. Tahap *Analysis* (Analisis) adalah tahap pengumpulan informasi untuk mengidentifikasi masalah atau menganalisis kebutuhan yang harus diperhatikan dalam perancangan media pembelajaran simulator alat radiologi.
2. Tahap *Design* (Desain) merupakan tahap perancangan produk. Pada tahap ini disusun desain alat peraga simulator radiologi khususnya untuk mempelajari tahapan pengoperasian mesin rontgen.
3. Tahap *Development* (Pengembangan) merupakan tahap pengembangan yang menghasilkan alat simulator radiologi.
4. Tahap *Implementation* (Implementasi) merupakan tahap uji. Pada tahap ini simulator alat radiologi akan diuji dengan melibatkan ahli materi sebagai validator. Aspek yang akan dinilai diantaranya aspek bahasa dan tampilan visual dari modul panduan praktik. Pada tahap ini juga ada penilaian dari ahli media sebagai validator yang menilai kelayakan alat. Tujuan yang ingin dicapai dalam pengembangan alat peraga ini adalah untuk membantu mahasiswa memahami materi mengenai Langkah-langkah pengoperasian alat radiologi. Pada tahapan ini juga diberikan kuisioner untuk mengetahui tanggapan mahasiswa terhadap alat peraga simulator radiologi.
5. Tahap *Evaluation* (Evaluasi) merupakan tahap evaluasi terhadap alat peraga simulator radiologi.

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah menggunakan kuisioner dengan pilihan penyajian data menggunakan skala Likert. Instrumen penilaian diberikan kepada ahli materi, ahli media dan untuk mahasiswa. Kuisioner untuk ahli materi berhubungan dengan kesesuaian panduan penggunaan alat dengan materi (aspek kelayakan isi), penyajian panduan alat (aspek kelayakan dalam pembelajaran), aspek Bahasa dan petunjuk penggunaan. Kuisioner untuk ahli media mencakup kualitas alat peraga yang dihasilkan, mulai dari ukuran, bentuk, kemudahan penggunaan alat dan aspek seberapa bermanfaat alat peraga yang dihasilkan. Instrumen yang diberikan untuk mahasiswa mencakup respon mahasiswa terhadap penggunaan alat simulator.

Analisis data dilakukan untuk menginterpretasikan kuisioner yang dibagikan. Interpretasi skor pada skala likert yang dihasilkan menunjukkan indikator penilaian baik tidaknya penggunaan simulator radiologi sebagai media pembelajaran. Interpretasi skor pada skala Likert yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1. Presentase dari tiap-tiap indikator dapat dilihat pada persamaan 2 berikut (7).

$$P = \frac{X}{N} \times 100\% \quad (2)$$

dengan P sebagai nilai presentase skor, X sebagai jumlah skor dan N sebagai skor maksimal.

Tabel 1. Interpretasi skor pada skala Likert.

Persentase Skor	Kriteria Validitas
0% - 25%	Tidak baik
26% - 50%	Kurang baik
51% - 75%	Baik
76% - 100%	Sangat baik

3. Hasil dan Pembahasan

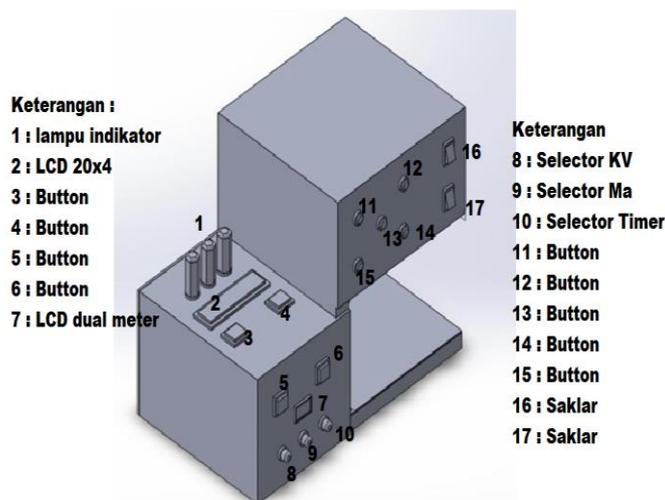
Penelitian ini menghasilkan produk berupa alat peraga (simulator) mesin rontgen dan panduan penggunaan alat. Alat peraga ini digunakan untuk membantu pemahaman mahasiswa untuk mempelajari proses pengoperasian mesin rontgen. Pengembangan alat peraga ini menggunakan model pengembangan ADDIE dengan tahapan sebagai berikut

3.1 *Analysis* (analisis)

Pada tahapan analisis dilakukan pengamatan terhadap mahasiswa dalam pemahaman materi tentang bagaimana sinar x diproduksi dan hal-hal apa saja yang menentukan proses produksi sinar x. Berdasarkan analisis materi ditemukan bahwa dibutuhkan alat peraga (simulator) untuk memahami cara-cara pengoperasian alat radiologi hingga terbentuk sinar x. Energi yang dimiliki sinar x sangat tinggi sehingga untuk keamanan dan keselamatan, diperlukan pengetahuan tentang prosedur penggunaan pesawat radiologi.

3.2 *Design* (Desain)

Pada tahapan ini dilakukan perancangan simulator alat radiologi dan panduan penggunaan alat dan kuisioner untuk uji validitas ahli materi dan ahli media serta kuisioner untuk melihat tanggapan mahasiswa akan adanya alat simulator alat radiologi. Pada tahapan perancangan simulator, ada tiga tahapan yang dilakukan yaitu (1) tahapan perancangan desain mekanik alat, (2) perancangan rangkaian elektronik serta (3) pengujian komponen. Gambar 1 menunjukkan rancangan desain mekanik simulator yang akan dibuat.



Gambar 1. Desain mekanik simulator pesawat sinar x.

3.3 *Development* (Pengembangan)

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan alat peraga simulator alat radiologi. Alat ini dilengkapi dengan panduan penggunaan alat. Alat peraga ini dibuat dengan menggunakan lampu DC sebagai indicator untuk menggantikan tabung rontgen. Gambar 2 menunjukkan alat yang sudah dibuat.

Alat peraga ini dibangun dalam dua sistem yaitu:

a. Sistem kontrol kV, mA, dan timer

Sistem ini digunakan untuk melakukan pengaturan dosis exposure yang terdiri dari pengaturan tegangan, arus, dan pewaktu. Alat ini didesain agar dapat melakukan kombinasi pengaturan sesuai dengan kebutuhan yakni:

Pemilihan tegangan : 22V, 44V, 66V, 88V, 110V, 132V, 154V, dan 176V

Pemilihan arus : 100mA, 200mA, dan 300mA

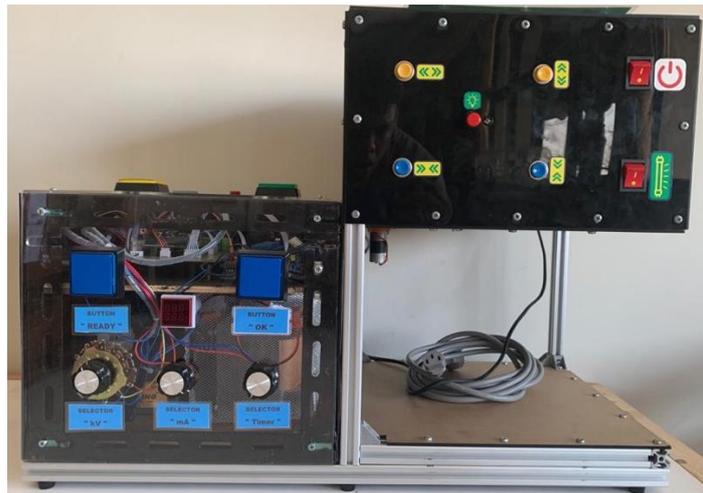
Pemilihan pewaktu : 10s, 20s, dan 30s

Pengaturan tegangan dan arus digunakan untuk menggambarkan intensitas radiasi. Radiasi pada alat peraga ini digambarkan sebagai terang gelap lampu. Semakin tinggi nilai tegangan dan arus

yang diatur, nyala lampu semakin terang, begitu sebaliknya. Pengaturan pewaktu digunakan untuk mengatur lama lampu menyala.

b. Sistem Kolimator

Sistem ini digunakan untuk melakukan pengaturan lebar lapang penyinaran sinar-X. Pengaturan dilakukan dengan cara melebarkan atau menyempitkan *shutter* pada sistem kolimator. Sistem ini juga dilengkapi lampu kolimator yang berfungsi untuk menunjukkan proses dan foto tulang untuk menunjukkan proses sinar-X.



Gambar 2. Simulator pesawat sinar x.

3.4 Implementation

Alat peraga diimplementasikan ke dalam pembelajaran setelah diberikan penjelasan tentang proses produksi sinar x dan hal-hal apa saja yang mempengaruhi sinar x yang dihasilkan hingga dihasilkan citra hasil rontgen. Simulator radiologi dibuat dengan tujuan agar mahasiswa dapat lebih memahami penjelasan. Dengan menggunakan simulator, mahasiswa bisa mencoba proses pengaturan nilai tegangan, arus dan pewaktu yang dibutuhkan pada proses produksi sinar x. selain itu mahasiswa mendapat pengalaman melakukan tahap-tahap pengoperasian alat radiologi. Simulator ini diharapkan meningkatkan minat mahasiswa pada materi yang diajarkan.

Efektivitas pembelajaran menggunakan simulator alat radiologi diukur menggunakan kuisioner dengan beberapa poin pertanyaan yang diisi menggunakan skala Likert 1-5 dimana 5 menunjukkan respon 'sangat setuju' dan 1 menunjukkan 'tidak setuju'. Hasil rekap data angket untuk mengevaluasi media pembelajaran diberikan oleh ahli materi diberikan pada tabel 2. Berdasarkan tabel 2, hasil evaluasi pada ahli materi didapatkan rata-rata persentase dari semua indikator yaitu 85% dengan interpretasi sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa simulator mesinsinar x sudah sesuai digunakan sebagai media pembelajaran untuk pengoperasian sinar x dan layak untuk digunakan. Ahli media diberikan kuisioner untuk mengevaluasi media alat simulator kolimator sinar x.

Tabel 2. Hasil validasi ahli materi.

No	Aspek	Persentase
1	Kelayakan Media Pembelajaran	82,5%
2	Kesesuaian dalam Pembelajaran	80%
3	Bahasa	85%
4	Penggunaan	95%
	Rata-rata	85%

Rekapitulasi data kuisioner evaluasi ahli media dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil validasi ahli media.

No	Aspek	Persentase
1	Pengenalan alat peraga	80%
2	Tampilan alat peraga	77,14%
3	Keamanan	86,66%
4	Penggunaan	95%
	Rata-rata	83%

Berdasarkan tabel 3, hasil evaluasi pada ahli media didapatkan rata-rata persentase dari semua indikator yaitu 83% dengan interpretasi sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa dari segi tampilan media pembelajaran simulator pesawat sinar x sudah sangat baik dan layak untuk digunakan sebagai salah satu media pembelajaran dalam pembelajaran Radiologi Dasar. Oleh sebab itu, media pembelajaran ini sudah layak untuk diujikan kepada dosen dan mahasiswa sebagai pengguna media pembelajaran. Uji coba pada pengguna dilakukan terhadap 46 mahasiswa. Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data pada tabel 4 dengan indikator yang diberikan adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil kuisisioner evaluasi simulator sinar x.

No	Indikator	Persentase
1	Media pembelajaran simulator mesin sinar x sesuai dengan kebutuhan mahasiswa	85,22%
2	Media pembelajaran simulator mesin sinar x memudahkan mahasiswa dalam pencapaian tujuan pembelajaran	86,00%
3	Media pembelajaran simulator mesin sinar x sesuai dengan materi yang disajikan	84,35%
4	Media pembelajaran simulator mesin sinar x memudahkan mahasiswa dalam mengaplikasikan materi yang disajikan	85,22%
5	Media pembelajaran simulator mesin sinar x yang disajikan mudah digunakan	85,22%
6	Kualitas Media pembelajaran simulator mesin sinar x telah baik	82,61%
	Rata-rata	84,78%

Berdasarkan hasil angket seperti ditunjukkan pada tabel 4, hasil evaluasi pembelajaran mahasiswa peserta kuliah didapatkan rata-rata persentase dari semua indikator yaitu 84,78% dengan interpretasi sangat baik. Mahasiswa setuju bahwa media pembelajaran simulator mesin sinar x sesuai dengan kebutuhan mahasiswa pada pengenalan mesin sinar x, simulator ini memudahkan mahasiswa dalam mencapai tujuan pembelajaran. Media pembelajaran simulator mesin sinar x sesuai dengan materi yang disajikan, memudahkan mahasiswa mengaplikasikan materi, dan media pembelajaran ini mudah digunakan

3.5 Evaluation

Evaluasi hasil penelitian yang diperoleh terhadap pengembangan alat peraga simulator sinar x sudah baik digunakan sebagai alat peraga dalam pembelajaran praktik Radiologi Dasar. Dengan simulator ini, mahasiswa dapat mempelajari langkah-langkah pengoperasian mesin sinar x. Penelitian sebelumnya, simulator kolimator sebagai salah satu simulator aksesoris dalam peralatan radiologi dikembangkan untuk mempelajari luas paparan radiasi [18]. Hasil uji kelayakan oleh ahli materi sebesar 81% dan ahli media 84%. Simulator ini diujikan kepada mahasiswa dan didapatkan hasil bahwa simulator ini dapat membantu mahasiswa memahami materi.

Pengembangan alat peraga lainnya untuk mendukung pemahaman materi banyak dilakukan peneliti-peneliti sebelumnya dengan metode ADDIE dan validasi ahli media dan ahli materi. Pengembangan alat peraga viskositas [23] mendapatkan hasil sangat layak dengan hasil validasi ahli media sebesar 91,85% dan hasil validasi materi 75% kategori layak. Penelitian ini juga diujikan kepada siswa dan mendapat nilai rata-rata 82,2%. Pengembangan alat peraga Fisika pada materi gerak lurus [24] juga dilakukan dengan metode yang sama dan mendapat hasil validasi ahli media sebesar 88%, ahli materi 89,34% dan penilaian dari siswa sebesar 88,3%. Penelitian-penelitian lain juga mendapatkan hasil bahwa penggunaan alat peraga dalam proses pembelajaran dapat membantu siswa dalam penguasaan materi [25], alat peraga juga efektif untuk meningkatkan minat dan hasil belajar siswa [26] serta meningkatkan motivasi pembelajaran sistem yang kompleks [27] sesuai dengan hasil yang didapat pada penelitian ini.

Evaluasi yang diberikan validator diantaranya perlu melengkapi simulator dengan indikator yang lebih lengkap dan menambahkan fitur *touchscreen* untuk pengaturan tegangan, arus dan pewaktu. Simulator ini dapat membantu mahasiswa memahami cara kerja pengoperasian mesin sinar x. Peralatan portabel dan kompak sehingga mudah dipindahkan. Sebagai masukan bisa dibuat simulator-simulator mesin sinar x pada aplikasi *dental x ray*, *mobile x ray*, mammografi dan aplikasi lainnya. Panduan penggunaan alat bisa dikembangkan menjadi bentuk buku panduan yang lebih menarik sehingga lebih meningkatkan minat belajar mahasiswa.

4. Simpulan

Pengembangan dan implementasi simulator pesawat sinar x telah berhasil dibuat sebagai media pembelajaran untuk memberikan pemahaman cara pengoperasian pesawat sinar x. Implementasi meliputi sistem mekanik, sistem elektronik dan sistem elektrik. Melalui media ini mahasiswa bisa mendapatkan pengalaman nyata cara menggunakan simulator pesawat sinar x. Berdasarkan hasil penilaian ahli materi dan ahli media, simulator mesin sinar x layak digunakan sebagai alat peraga dalam topik materi sinar x. Hasil kuisioner mahasiswa sebagai pengguna didapatkan rata-rata prosentase 84,78%. Saran untuk penelitian selanjutnya perlu dikembangkan simulator mesin sinar x untuk aplikasi-aplikasi khusus.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Sanata Dharma, yang telah mendanai penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dosen Muda dengan No. 016 Penel./LPPM-USD/III/2023. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada rekan-rekan Program Studi Teknologi Elektromedis Universitas Sanata Dharma Yogyakarta atas diskusinya yang bermanfaat selama penyelesaian karya ini.

Daftar Pustaka

- [1] Peter J 2009 Medical Imaging Modalities — An Introduction *Advanced Imaging in Biology and Medicine* ed C W Sensen and B Hallgrímsson (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg) pp 225–54
- [2] Islam S K M S, Nasim M A A, Hossain I, Ullah D M A, Gupta D K D and Bhuiyan M M H 2023 Introduction of Medical Imaging Modalities
- [3] Ju R-Y and Cai W 2023 Fracture Detection in Pediatric Wrist Trauma X-ray Images Using YOLOv8 Algorithm
- [4] Bravo A, Vera M, Huérfano Y, Manrique Y and Valbuena O 2020 Uncertainty as key element in the analysis of X-ray angiography images *J. Phys.: Conf. Ser.* **1547** 012021
- [5] Nicosia L, Gnocchi G, Gorini I, Venturini M, Fontana F, Pesapane F, Abiuso I, Bozzini A C, Pizzamiglio M, Latronico A, Abbate F, Meneghetti L, Battaglia O, Pellegrino G and Cassano E 2023 History of Mammography: Analysis of Breast Imaging Diagnostic Achievements over the Last Century *Healthcare* **11** 1596
- [6] Fitria I and Gunawan G 2022 The Role of Panoramic Radiographs in Determining The Preprosthetic Treatment During Denture Fabrication - A Case Report *Andalas Dent. J.* **10** 1–7
- [7] Huda W and Abrahams R B 2015 Radiographic Techniques, Contrast, and Noise in X-Ray Imaging *American Journal of Roentgenology* **204** W126–31
- [8] Hendee W R and Ritenour E R 2002 *Medical Imaging Physics* (Wiley)
- [9] Martin C 2007 The importance of radiation quality for optimisation in radiology *Biomed. Imaging Interv. J.* **3**
- [10] Tamgadge M S, Tivaskar M S, Luharia M A, Dhande D R and Pathade A 2022 Image Quality Enhancement In Digital Radiography- Review Article *Journal of Pharmaceutical Negative Results* **13**
- [11] Kumari K, Shakya S and Goswami M 2022 Effect of scattering and electronic noise upon selection of detectors for Gamma Computerized Tomography
- [12] Tondon A, Singh M, Sandhu B S and Singh B 2015 A Compton scattering technique to determine wood density and locating defects in it *ADVANCED MATERIALS AND RADIATION*

- PHYSICS (AMRP-2015): 4th National Conference on Advanced Materials and Radiation Physics (Longowal, India) p 020048
- [13] Tam S-Y, Fung Y-Y, Lau S-Y, Lam W-N and Wong E T-H 2023 Scatter Radiation Distribution to Radiographers, Nearby Patients and Caretakers during Portable and Pediatric Radiography Examinations *Bioengineering* **10** 779
- [14] Ningrum S A 2020 Efek Perubahan Dosis Radiasi Dan Kualitas Gambar Pada Hasil Radiograph Dengan Luas Kolimasi Berbeda *JID* **6** 103–6
- [15] Abu Bakar N F, Amira Othman S, Amirah Nor Azman N F and Saqinah Jasrin N 2019 Effect of ionizing radiation towards human health: A review *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **268** 012005
- [16] Anon Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional
- [17] W A T, Sumarni R A and Astuti S P 2018 Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Interaktif Berbasis Macromedia Flash Pro CS6 untuk SMA pada Pokok Bahasan Kinematika *JP2F* **9** 6
- [18] Jiwatami A M A, Effendi S M and Wicaksono N B 2022 Perancangan dan Implementasi Simulator Kolimator Sebagai Media Pembelajaran Topik Sinar-X *SJPIF* **4** 137–48
- [19] Maharani P A, Risdianto E and Setiawan I 2024 Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbantuan Google Sites untuk Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Materi Momentum dan Impuls *J. Penel. Pemb. Fis.* **15** 31–42
- [20] Saputra K D, Arsa I P S and Santiyadnya N 2022 PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNTUK MATA PELAJARAN PRAKARYA DAN KEWIRAUSAHAAN DI SMA NEGERI 2 SINGARAJA **11**
- [21] Hidayat F and Nizar M 2021 MODEL ADDIE (ANALYSIS, DESIGN, DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION AND EVALUATION) DALAM PEMBELAJARAN PENDIDIKAN AGAMA ISLAM *JIPAI* **1** 28–38
- [22] Safitri M, Aziz M R and Sjakyakirti U ADDIE, SEBUAH MODEL UNTUK PENGEMBANGAN MULTIMEDIA LEARNING
- [23] Br Depari S S, Hamdani D and Medriati R 2024 Pengembangan Alat Peraga Viskositas Menggunakan Sensor Mini Reed Switch Magnetic Berbasis Arduino Uno *J. Penel. Pemb. Fis.* **15** 18–30
- [24] Prodi Pendidikan Fisika, FMIPA, Universitas Hamzanwadi, Fartina F, Hizbi T, Zahara L and Mudrikah M 2022 Pengembangan Alat Peraga Fisika Sederhana Berbahan Bekas Pakai pada Materi Gerak Lurus *kpj* **6** 113–8
- [25] Munawar M, La Fua J, Kadir A and Halmuniati H 2020 Efektivitas Penggunaan Media Alat Peraga Terhadap Tingkat Pemahaman Siswa pada Materi Sistem Ekskresi di SMA Negeri 1 Watopute *KD* **1** 6
- [26] Ariani N A and Gumay O P 2023 PENGEMBANGAN ALAT PERAGA PAPAN SELUNCUR PADA MATERI HUKUM NEWTON UNTUK MENINGKATKAN MINAT DAN HASIL BELAJAR
- [27] Effendi S M, Jiwatami A M A and Wicaksono N B 2023 Reka Cipta Mesin Sortir Warna Benda Menggunakan Kamera PIXY2 CMUCAM5 *SJPIF* **5** 34–47