

Jarak Aman Terhadap Paparan Radiasi Pesawat Sinar-X Portable Tanpa Perisai

Ayu Mahanani

Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia; ayumahanani@unisayogya.ac.id
(koresponden)

Ike Ade Nur Liscyaningsih

Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia; ikeade@unisayogya.ac.id

Sofie Nornalita Dewi

Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia; sofie.nornalita@unisayogya.ac.id

Havania Risqi

Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta, Indonesia; havaniarisqi96545@gmail.com

ABSTRACT

Portable X-ray machines are one of the technologies that can produce real-time radiographic images on site, so they are considered effective for emergency examinations. In addition to its advantages, portable X-ray machines can cause adverse effects on the exposed human body, therefore radiation protection is needed. Emergency situations that do not allow officers to carry shields require radiation workers to calculate a safe distance to carry out exposure, so that the radiation received by workers and the public is considered safe enough. The purpose of this study was to determine the safe distance for radiation workers and the public from radiation exposure when conducting emergency examinations without shields. This study was a descriptive quantitative study by measuring radiation exposure in the auditorium environment of building B, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta. Measurements were taken on all four sides of the machine with a distance from the radiation source at each point of 1 meter, 2 meters and 3 meters. The collected data were analyzed descriptively. The results of the calculation of radiation exposure in the auditorium of the Siti Bariyah building, Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta showed that the radiation dose for radiation workers had met the safe limit, but the radiation dose for the community had not met the safe limit set by BAPETEN Regulation Number 5 of 2016. Furthermore, it was concluded that the application of portable X-rays is safe up to a distance of 1 meter for radiation workers but not yet safe for the community.

Keywords: portable X-ray; safe distance; radiation workers; community

ABSTRAK

Pesawat sinar-X portable merupakan salah satu teknologi yang mampu menghasilkan citra radiograf secara *real-time* di lokasi, sehingga dinilai efektif untuk pemeriksaan dalam keadaan gawat darurat. Di samping kelebihanannya, pesawat sinar-X portable dapat menimbulkan efek merugikan pada tubuh manusia yang terpapar, oleh karena itu dibutuhkan proteksi radiasi. Keadaan gawat darurat yang tidak memungkinkan petugas membawa perisai membuat pekerja radiasi harus memperhitungkan jarak aman untuk melakukan ekposi, sehingga radiasi yang diterima pekerja dan masyarakat dinilai cukup aman. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jarak aman bagi pekerja radiasi dan masyarakat terhadap paparan radiasi pada saat melakukan pemeriksaan keadaan gawat darurat tanpa perisai. Penelitian ini merupakan studi kuantitatif deskriptif dengan melakukan pengukuran paparan radiasi pada lingkungan auditorium gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta. Pengukuran dilakukan pada keempat sisi pesawat dengan jarak dari sumber radiasi pada masing-masing titik yaitu 1 meter, 2 meter dan 3 meter. Data yang telah terkumpul dianalisis secara deskriptif. Hasil perhitungan paparan radiasi di auditorium gedung Siti Bariyah Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta menunjukkan bahwa dosis radiasi bagi pekerja radiasi telah memenuhi batas aman, namun dosis radiasi bagi masyarakat belum memenuhi batas aman yang telah ditetapkan Perka BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016. Selanjutnya disimpulkan bahwa aplikasi sinar-X portable adalah aman hingga jarak 1 meter bagi pekerja radiasi tetapi belum aman bagi masyarakat.

Kata kunci: X-ray portable; jarak aman; pekerja radiasi; masyarakat

PENDAHULUAN

Letak geografis, demografis, sosiologis, dan historis Indonesia menjadikan wilayah Indonesia sebagai wilayah rentan bencana, baik bencana alam, non-alam dan sosial. Menurut data Badan Nasional Penganggulangan Bencana (BNPB), sepanjang tahun 2023 telah terjadi 2.915 bencana di Indonesia. Situasi krisis kesehatan sering ditemui pada kondisi tanggap darurat bencana, rehabilitasi dan rekonstruksi. Pada kondisi ini diperlukan tenaga kesehatan yang kompeten dalam rangka penyelamatan.⁽¹⁾ Radiolog merupakan tenaga kesehatan dalam kesiapsiagaan dengan memberikan pencitraan *real-time* untuk membantu deteksi dini dan penilaian risiko.⁽²⁾

Pesawat sinar-X portable merupakan modalitas dalam pemanfaatan radiasi pengion di bidang kedokteran untuk keperluan diagnostik. Pesawat sinar-X portable merupakan teknologi yang memberikan pencitraan *real-time* kepada petugas pertolongan pertama dan tim kesehatan dalam membantu menentukan triase, keputusan pengobatan dan prioritas evakuasi. Keunggulan pesawat sinar-X portable yang berukuran kecil dan mudah dibawa untuk memberikan pencitraan di lokasi, sehingga memungkinkan penilaian cedera secepat mungkin.⁽²⁾ Pesawat sinar-X portable juga dapat menimbulkan efek merugikan yang dapat muncul pada tubuh manusia yang terpapar, salah satunya yaitu efek deterministik yang akan muncul beberapa saat setelah terpapar dosis di atas dosis ambang.⁽³⁾ Perka BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 telah mengatur nilai batas dosis yang dapat diterima oleh pekerja radiasi dan masyarakat. Pekerja radiasi tidak boleh menerima dosis diatas 20 mSv dalam satu tahun, sedangkan masyarakat tidak boleh menerima dosis di atas 1 mSv dalam satu tahun. Sehubungan dengan adanya efek merugikan yang dapat ditimbulkan oleh paparan radiasi, maka diperlukan sebuah proteksi radiasi yang berfungsi untuk melindungi manusia terhadap paparan radiasi berlebihan.⁽³⁾

Tiga prinsip proteksi radiasi yang diterapkan untuk mencegah timbulnya kerugian dari paparan radiasi yaitu durasi paparan radiasi (*time*), jarak dari sumber radiasi (*distance*) dan penggunaan pelindung radiasi

(*shielding*). Pengurangan jumlah paparan radiasi pada pekerja radiasi dapat dilakukan dengan mempertimbangkan jarak aman dari tabung ke posisi pekerja radiasi dengan mengupayakan jarak menjadi dua kali jarak mula-mula.⁽⁴⁾ Perisai radiasi merupakan sarana proteksi bagi pekerja radiasi untuk mengurangi paparan radiasi sinar-X yang terhambur.⁽⁵⁾ Meskipun penggunaan perisai radiasi telah diterapkan, bila jarak antara *shielding* dengan sumber radiasi tidak terlalu jauh, dikhawatirkan akan timbul perbedaan sebaran radiasi pada setiap posisi.⁽⁶⁾

Sebaran radiasi yang berbeda-beda dapat diketahui dengan melakukan tinjauan proteksi radiasi.⁽⁶⁾ Penelitian terkait keluaran radiasi pesawat sinar-X sebelumnya telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan pesawat sinar-X *mobile* dengan faktor eksposi pemeriksaan rontgen dada yang biasa digunakan untuk melakukan rontgen dada pada RSUP Fatmawati, yaitu 58 kV dan 5,12 mAs. Pengukuran dilakukan dengan 1 meter, 2 meter, 3 meter, dan 4 meter pada 4 arah (anoda, katoda, depan dan belakang/operator). Pengukuran radiasi hambur divariasikan dengan dan tanpa pelindung radiasi, digunakan pelindung radiasi apron 0,5 mm Pb dan pelindung *shielding mobile* 2 mm Pb. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai dosis hambur paling rendah berada pada lokasi D (daerah operator), karena radiasi hambur terhalang oleh badan pesawat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak aman tanpa menggunakan penahan radiasi bagi pekerja radiasi adalah pada jarak lebih dari sama dengan 1 meter, sedangkan jarak aman bagi masyarakat umum adalah pada jarak lebih dari sama dengan 2 meter.

Pesawat sinar-X *portable* merupakan teknologi yang mampu menghasilkan citra radiograf secara *real-time* di lokasi sehingga dinilai efektif untuk melakukan pemeriksaan dalam keadaan gawatdarurat.⁽²⁾ Seperti modalitas lainnya, pesawat sinar-X menghasilkan radiasi yang dapat menyebabkan efek merugikan pada tubuh manusia yang terpapar, oleh karena itu dibutuhkan proteksi radiasi. Keadaan gawat darurat yang tidak memungkinkan pekerja radiasi membawa perisai radiasi (*shielding*) yang memiliki berat rata-rata 5-7 kg membuat pekerja radiasi harus menerapkan prinsip proteksi radiasi lainnya salah satunya yaitu prinsip jarak dengan memperhitungkan jarak aman untuk melakukan eksposi sehingga radiasi yang diterima pekerja radiasi dan masyarakat dinilai aman.

Berdasarkan latar belakang di atas maka diperlukan riset yang bertujuan untuk mengetahui jarak aman bagi pekerja radiasi dan masyarakat terhadap paparan radiasi pada saat melakukan pemeriksaan keadaan gawat darurat tanpa perisai.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan melakukan pengukuran di lingkungan auditorium gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta pada bulan Februari 2024. Adapun alat dan bahan yang digunakan yaitu pesawat sinar-X *portable*, *surveymeter*, meteran, apron dan *shielding*, *phantom* dan alat tulis. Pengambilan data dilakukan pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan, yaitu pada 4 sisi pesawat yang masing-masing disebut sebagai titik A, titik B, titik C dan titik D. Setiap titik diukur pada jarak 1 meter, 2 meter dan 3 meter dari pesawat. Pengukuran dilakukan dengan mengukur paparan radiasi pada masing-masing titik sebanyak tiga kali. Titik pengukuran paparan radiasi dapat dilihat pada Gambar 1. Dosis yang terukur pada *surveymeter* kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai paparan radiasi sebenarnya dengan persamaan adalah: $D_{\text{sebenarnya}} = D_{\text{terukur}} \times \text{Faktor Kalibrasi}$.⁽⁷⁾



Gambar 1. Titik pengukuran paparan radiasi auditorium gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta

Penelitian ini sudah menjalani kaji etik pada Komite Etik Penelitian Kesehatan Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta dan dinyatakan layak etik sesuai 7 (tujuh) standar WHO 2011 yaitu: 1) nilai sosial, 2) nilai ilmiah, 3) pemerataan beban dan manfaat, 4) risiko, 5) bujukan/eksploitasi, 6) kerahasiaan dan privacy, dan 7) persetujuan setelah penjelasan, yang merujuk pada pedoman CIOMS 2016.

HASIL

Telah dilakukan pengukuran paparan radiasi di lingkungan auditorium gedung B Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta dengan menggunakan pesawat sinar-X *portable* merk FujiFilm tipe FDR Xair dengan faktor eksposi maksimal kV 90 dan mAs 2,5 dan *surveymeter* digital dengan faktor kalibrasi 1,1 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ dengan merk Fluke Biomedical type 451P Ion Chamber, dan menggunakan *phantom thorax* sebagai pengganti objek pada saat dilakukan eksposi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan faktor eksposi 90 kV dan 2,5 mAs yang dilakukan pada empat titik yaitu titik A yang merupakan daerah anoda, titik B yang merupakan daerah sisi kanan sumber radiasi, titik C yang merupakan daerah katoda, dan titik D yang merupakan sisi kiri sumber radiasi. Pengukuran dilakukan pada masing-masing titik pada jarak 1 meter, 2 meter dan 3 meter, dan dilakukan pengukuran sebanyak tiga kali pada masing-masing titik pengukuran. Arah sinar diatur vertikal tegak lurus objek dan jarak antara sumber radiasi dengan objek adalah 150 cm.

Rerata hasil pengukuran paparan radiasi sebanyak 3 kali pada masing-masing titik yang ditunjukkan pada *surveymeter* selanjutnya dihitung dengan rumus $D_{\text{sebenarnya}}$ untuk mendapatkan dosis paparan radiasi sebenarnya. Hasil paparan radiasi sebenarnya dapat dilihat pada Tabel 1. Adapun kurva sebaran paparan radiasi sebenarnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran paparan radiasi sebenarnya auditorium gedung B Universitas ‘Aisyiyah Yogyakarta

Jarak dari sumber radiasi	Hasil pengukuran pada titik (μSv)			
	A	B	C	D
1 Meter	0,49	0,61	0,60	0,77
2 Meter	0,24	0,30	0,33	0,32
3 Meter	0,20	0,15	0,18	0,12



Unit: μSv
 Parameter eksposi Thorax 90 kV, 2,5 mAs
 Arah Sinar: Vertikal, FFD 150 cm
 Alat Ukur: Surveymeter Fluke Biomedical, faktor kalibrasi 1,1
 Keterangan Titik:
 A daerah Anoda
 B daerah sisi kanan sumber radiasi
 C daerah katoda
 D daerah sisi kiri sumber radiasi

Gambar 2. Kurva sebaran paparan radiasi sebenarnya auditorium gedung B Universitas ‘Aisyiyah Yogyakarta

Nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 bagi pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun yang bila diasumsikan bahwa dosis sama tiap jamnya maka setara dengan 2,28 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$, sedangkan NBD bagi masyarakat adalah 1 mSv/tahun yang apabila diasumsikan bahwa dosis sama tiap jamnya maka setara dengan 0,11 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Kesesuaian dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi dan masyarakat tiap jamnya di lingkungan gedung auditorium gedung B Universitas ‘Aisyiyah Yogyakarta dengan Perka BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 ditampilkan pada Tabel 2 hingga Tabel 5.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengukuran paparan radiasi titik A (daerah anoda) dengan NBD

Jarak dari sumber radiasi	Hasil paparan radiasi (μSv)	Paparan yang diizinkan untuk pekerja radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan	Paparan yang diizinkan untuk masyarakat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan
1 Meter	0,49	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
2 Meter	0,24	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
3 Meter	0,20	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi

Tabel 3. Perbandingan hasil pengukuran paparan radiasi titik B (sisi kanan sumber radiasi) dengan NBD

Jarak dari sumber radiasi	Hasil paparan radiasi (μSv)	Paparan yang diizinkan untuk pekerja radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan	Paparan yang diizinkan untuk masyarakat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan
1 Meter	0,61	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
2 Meter	0,30	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
3 Meter	0,15	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi

Tabel 4. Perbandingan hasil pengukuran paparan radiasi titik C (daerah katoda) dengan NBD

Jarak dari sumber radiasi	Hasil paparan radiasi (μSv)	Paparan yang diizinkan untuk pekerja radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan	Paparan yang diizinkan untuk masyarakat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan
1 Meter	0,60	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
2 Meter	0,33	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
3 Meter	0,18	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi

Tabel 5. Perbandingan hasil pengukuran paparan radiasi titik D (sisi kiri sumber radiasi) dengan NBD

Jarak dari sumber radiasi	Hasil paparan radiasi (μSv)	Paparan yang diizinkan untuk pekerja radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan	Paparan yang diizinkan untuk masyarakat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Keterangan
1 Meter	0,77	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
2 Meter	0,32	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi
3 Meter	0,12	2,28	Memenuhi	0,11	Tidak memenuhi

Hasil perbandingan pengukuran paparan radiasi pada titik pengukuran dengan NBD Perka BAPETEN menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diterima oleh pekerja radiasi pada tiap titik pengukuran dinyatakan aman karena tidak melebihi NBD yaitu $<2,28 \mu\text{Sv}/\text{jam}$. Sedangkan dosis radiasi yang diterima oleh masyarakat pada tiap titik dinyatakan belum aman karena melebihi NBD yaitu kurang dari 0,11 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Namun, jarak yang paling aman bagi masyarakat adalah pada jarak 3 meter di sisi kanan sumber radiasi karena pada titik tersebut dosis radiasi yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan pada titik pengukuran lain yaitu sebesar 0,12 μSv .

PEMBAHASAN

Keadaan gawat darurat menciptakan situasi krisis kesehatan yang di dalamnya diperlukan tenaga kesehatan yang kompeten dalam bidangnya dalam rangka penyelamatan manusia,⁽⁸⁻¹⁵⁾ salah satunya adalah bidang radiologi. Radiologi merupakan unit penunjang yang berperan dalam memberikan pencitraan secara *real-time* sehingga dapat membantu pemberian deteksi dini dan penilaian risiko.⁽¹⁶⁻¹⁸⁾ Salah satu teknologi yang dinilai

efektif digunakan dalam keadaan gawat darurat adalah *portable radiography* sehingga mudah dibawa.⁽¹⁹⁾ Salah satu *portable radiography* adalah pesawat sinar-X *portable* yang memanfaatkan radiasi sinar-X yang dapat menimbulkan efek merugikan yaitu efek deterministik yang diterima oleh manusia yang terpapar dosis di atas ambang, sehingga dibutuhkan proteksi radiasi perisai, jarak dan waktu.⁽³⁾ Namun dalam keadaan gawat darurat tenaga kesehatan kesulitan membawa perisai radiasi dengan berat 5-7 kg, sehingga diperlukan pemanfaatan proteksi radiasi jarak sebagai penggantinya.

Jarak merupakan salah satu faktor yang memengaruhi jumlah paparan radiasi yang diterima oleh pasien dan pekerja radiasi. Hal tersebut dibuktikan dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa dengan mengupayakan jarak menjadi 2 kali dari jarak mula-mula maka paparan radiasi akan berkurang menjadi 1/4.⁽⁴⁾ Hal tersebut sejalan dengan prinsip proteksi radiasi jarak, bahwa semakin jauh jarak antara sumber radiasi dengan titik yang diukur maka semakin kecil pula sebaran radiasi hambur yang dihasilkan.⁽⁶⁾ Sejalan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui berapa jarak aman bagi pekerja radiasi dan masyarakat dengan memberikan inovasi baru dengan penggunaan pesawat sinar-X portable dan dilakukan pada ruang terbuka tanpa gangguan benda asing.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi jarak mempengaruhi paparan radiasi pesawat sinar-X *portable*. Berdasarkan hasil pengukuran dapat diketahui bahwa terjadi penurunan paparan radiasi pada tiap-tiap jarak. Hal tersebut sejalan dengan teori hukum kuadrat terbalik (*Invers Square Law*) yang menyatakan bahwa intensitas cahaya atau gelombang linier yang memancar dari titik sumber berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari sumber. Intensitas radiasi merupakan fungsi dari jarak. Intensitas radiasi akan semakin berkurang dengan bertambahnya jarak tempuh. Berdasarkan hasil pengukuran, paparan radiasi tertinggi berada pada titik D (daerah sisi kiri sumber radiasi) pada jarak 1 meter sebesar 0,77 μ Sv, sedangkan paparan radiasi terendah berada pada titik D (daerah sisi kiri sumber radiasi) pada jarak 3 meter sebesar 0,12 μ Sv.

Anode heel effect merupakan peristiwa yang menjelaskan terkait ketidakteraturan medan radiasi yang keluar pada saat eksposi. Dalam hal ini terjadi penurunan paparan radiasi ke sisi anoda dan peningkatan paparan radiasi menuju ke sisi katoda.⁽²⁰⁾ Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa rerata paparan radiasi pada daerah anoda adalah 0,31 μ Sv dan rerata paparan radiasi pada daerah katoda adalah 0,37 μ Sv. Ini membuktikan bahwa penelitian ini sejalan dengan teori *anode heel effect* yang menyatakan bahwa paparan radiasi di katoda akan lebih besar dibandingkan dengan paparan radiasi di anoda.^(21,22)

Perka BAPETEN Nomor 5 Tahun 2016 telah menetapkan NBD bagi pekerja radiasi dan masyarakat umum yaitu sebesar 20 mSv/ tahun dan 1 mSv/tahun. Bila diasumsikan bahwa dosis sama tiap jamnya maka nilai batas dosis pekerja setara dengan 2,28 μ Sv/jam, sedangkan bagi masyarakat setara dengan 0,11 μ Sv/jam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa paparan radiasi di auditorium gedung Siti Bariyah Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta pada jarak 1 sampai 3 meter telah memenuhi batas aman, sedangkan bagi masyarakat umum belum memenuhi batas aman hingga jarak 3 meter. Berdasarkan hasil penelitian ini disarankan bagi masyarakat umum untuk berada pada jarak lebih dari 3 meter dari sumber radiasi ketika dilakukan eksposi menggunakan pesawat sinar-X *portable* tanpa perisai.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran paparan radiasi di auditorium gedung Siti Bariyah Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta yang dilakukan pada keempat sisi pesawat dengan jarak 1 meter, 2 meter dan 3 meter dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai paparan radiasi masih dalam batas aman bagi pekerja radiasi, namun belum dinyatakan aman bagi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Jamil NM, Bahar F, Subiakto Y. Peran fisioterapis pada penanggulangan bencana di Indonesia dalam mendukung keamanan nasional. *Jurnal Ilmiah Keperawatan*. 2022;8(4):656–64.
2. Henderson D, Mark S, Rawlings D, Robson K. Portable X-rays—A new era? *IPEM-Translation*. 2022;3-4.
3. Hidayatullah R. Dampak tingkat radiasi pada tubuh manusia. *Jurnal Mutiara Elektromedik*. 2017;1(1):16-23.
4. Irsal M, Syuhada FA, Ananda YP, Putra AGP, Syahputera MR, Wibowo S. Measurement of radiation exposure in facilities for radiology diagnostic at the COVID-19 emergency hospital in Wisma Atlet Jakarta. *Journal of Vocational Health Studies*. 2020 Nov 19;4(2):55.
5. Husain W. Analisis pengaruh tegangan tabung dan arus terhadap daya serap radiasi dan laju dosis radiasi pada bahan serat ijuk dan timbal (II) oksida sebagai perisai radiasi sinar-X. Makassar: UNHAS; 2021.
6. Rahmat Y, Melani Gustia R, Salim A. Analisis sebaran radiasi hambur pesawat sinar-X konvensional di instalasi radiologi RSIA Zainab. *Medical Imaging and Radiation Protection Research Journal*. 2022;2(1):2808–5272.
7. Anggita Tunggadewi D, Anita F, Ahmad F. Uji paparan radiasi pada ruangan panoramik dengan menggunakan survymeter di Instalasi Radiologi RSUD Kabupaten Tangerang. *Wahana Fisika*. 2021;6(2):83–9.
8. DeVita T, Brett-Major D, Katz R. How are healthcare provider systems preparing for health emergency situations? *World Med Health Policy*. 2022 Mar;14(1):102-120. doi: 10.1002/wmh3.436. Epub 2021 May 11. PMID: 34226853; PMCID: PMC8242524.
9. Emami SG, Lorenzoni V, Turchetti G. Towards resilient healthcare systems: a framework for crisis management. *Int J Environ Res Public Health*. 2024 Feb 29;21(3):286. doi: 10.3390/ijerph21030286. PMID: 38541286; PMCID: PMC10970665.
10. Corbin JH, Oyene UE, Manoncourt E, Onya H, Kwamboka M, Amuyunzu-Nyamongo M, Sørensen K, Mweemba O, Barry MM, Munodawafa D, Bayugo YV, Huda Q, Moran T, Omoleke SA, Spencer-Walters D, Van den Broucke S. A health promotion approach to emergency management: effective community

- engagement strategies from five cases. *Health Promot Int.* 2021 Dec 13;36(Supplement_1):i24-i38. doi: 10.1093/heapro/daab152. PMID: 34897448; PMCID: PMC8667549.
11. Santinha G, Forte T, Gomes A. Willingness to work during public health emergencies: a systematic literature review. *Healthcare (Basel)*. 2022 Aug 9;10(8):1500. doi: 10.3390/healthcare10081500. PMID: 36011158; PMCID: PMC9408569.
 12. DeVita T, Brett-Major D, Katz R. How are healthcare provider systems preparing for health emergency situations? *World Med Health Policy*. 2022 Mar;14(1):102-120. doi: 10.1002/wmh3.436. Epub 2021 May 11. PMID: 34226853; PMCID: PMC8242524.
 13. Vasli P, Dehghan-Nayeri N. Emergency nurses' experience of crisis: A qualitative study. *Jpn J Nurs Sci*. 2016 Jan;13(1):55-64. doi: 10.1111/jjns.12086. Epub 2015 Jul 15. PMID: 26176583.
 14. Sánchez-Zaballos M, Mosteiro-Díaz MP. Resilience Among Professional Health Workers in Emergency Services. *J Emerg Nurs*. 2021 Nov;47(6):925-932.e2. doi: 10.1016/j.jen.2020.07.007. Epub 2020 Sep 19. PMID: 32962846; PMCID: PMC7502008.
 15. Jordan K, Lewis TP, Roberts B. Quality in crisis: a systematic review of the quality of health systems in humanitarian settings. *Confl Health*. 2021 Feb 2;15(1):7. doi: 10.1186/s13031-021-00342-z. PMID: 33531065; PMCID: PMC7851932.
 16. European Society of Radiology (ESR). The role of radiologist in the changing world of healthcare: a White Paper of the European Society of Radiology (ESR). *Insights Imaging*. 2022 Jun 4;13(1):100. doi: 10.1186/s13244-022-01241-4. PMID: 35662384; PMCID: PMC9167391.
 17. Najjar R. Redefining radiology: a review of artificial intelligence integration in medical imaging. *Diagnostics (Basel)*. 2023 Aug 25;13(17):2760. doi: 10.3390/diagnostics13172760. PMID: 37685300; PMCID: PMC10487271.
 18. Pesapane F. How scientific mobility can help current and future radiology research: a radiology trainee's perspective. *Insights Imaging*. 2019 Aug 27;10(1):85. doi: 10.1186/s13244-019-0773-z. PMID: 31456090; PMCID: PMC6712195.
 19. Alexander D. Radiology's role in disaster medicine: preparedness, response, and recovery strategies. *Report*. 2023;8(2):82-88.
 20. Verawati. Pemanfaatan anode heel effect untuk mengoptimalkan dosis radiasi pada pemeriksaan radiografi pelvis. *Report*. 2021;2(8):32-38.
 21. Chou MC. Evaluation of non-uniform image quality caused by anode heel effect in digital radiography using mutual information. *Entropy (Basel)*. 2021 Apr 25;23(5):525. doi: 10.3390/e23050525. PMID: 33922996; PMCID: PMC8145656.
 22. Mraity HAAB, Walton L, England A, Thompson J, Lanca L, Hogg P. Can the anode heel effect be used to optimise radiation dose and image quality for AP pelvis radiography? *Radiography (Lond)*. 2020 May;26(2):e103-e108. doi: 10.1016/j.radi.2019.11.094. Epub 2019 Dec 23. PMID: 32052763.