



Analisis Penggunaan Surveymeter Berbasis Ionization Chamber dalam Pengukuran Kebocoran dan Paparan Radiasi di Rumah Sakit

Andi Wahida¹, Elyka^{1*}, Erlinda Ratnasari Putri¹

¹⁾ Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Jl. Barong Tongkok No 4, Gunung Kelua, Kecamatan Samarinda Ulu, Samarinda 75242, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: elykaelyka22@gmail.com

Article Info:

Received: 15-12-2025

Revised: 03-02-2026

Accepted: 17-04-2026

Keywords:

Ionization Chamber, Radiation Safety, Radiation Exposure, Radiation Leakage.



Abstract

Radiation safety is an essential aspect of hospital operations that utilize ionizing radiation sources; therefore, continuous monitoring of radiation exposure and leakage is required to protect radiation workers, patients, and the surrounding community. Uncontrolled radiation exposure may pose health risks, highlighting the need for reliable and accurate measurement instruments. This study employs a systematic literature review of 17 scientific articles published between 2021 and 2025 to analyze the effectiveness of ionization chamber-based survey meters in measuring radiation leakage and exposure in hospital environments. The reviewed studies utilized ionization chamber survey meters to evaluate environmental radiation dose rates, occupational exposure of radiation workers, and radiation leakage from medical equipment across various clinical modalities. Several types of ionization chambers were reported, including pressurized ionization chamber survey meters and Farmer ionization chambers. The results indicate that ionization chamber-based survey meters exhibit high measurement accuracy and stability and are capable of consistently detecting radiation exposure and leakage under diverse clinical conditions. The measured radiation exposure and leakage values were generally below the dose limit values established by radiation safety regulations. Therefore, ionization chamber survey meters are effective instruments for supporting environmental dose control, the implementation of the ALARA principle, and the fulfillment of radiation safety standards in hospitals.

PENDAHULUAN

Keselamatan radiasi merupakan aspek fundamental dalam operasional rumah sakit yang memanfaatkan sumber radiasi pengion, khususnya pada instalasi radiologi diagnostik dan radioterapi. Penggunaan radiasi yang tidak terkontrol berpotensi menimbulkan paparan radiasi berlebih bagi pekerja radiasi, pasien, maupun masyarakat di sekitar fasilitas kesehatan[1].

Berdasarkan Peraturan Bapeten Nomor 4 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X untuk Radiologi Diagnostik pemantauan radiasi secara rutin atau berkala sangat penting untuk memastikan bahwa nilai batas dosis (NBD) yang diterima oleh pekerja radiasi tetap berada dalam batas aman. Batas dosis efektif untuk pekerja radiasi

ditetapkan sebesar 20 mSv per tahun, sedangkan untuk masyarakat umum sebesar 1 mSv per tahun (Bapeten No.5 Tahun 2016)[1]. Sehingga, penerapan sistem proteksi radiasi yang efektif diperlukan untuk memastikan paparan radiasi tetap berada di bawah NBD serta sejalan dengan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*).

Pemantauan paparan dan kebocoran radiasi di rumah sakit merupakan bagian penting dalam upaya pengendalian keselamatan radiasi. Kebocoran radiasi dapat terjadi akibat sistem pelindung radiasi yang tidak memadai, degradasi material pelindung, atau kesalahan operasional peralatan sinar-X dan sumber radiasi lainnya. Apabila tidak terdeteksi dengan baik, kebocoran tersebut dapat menyebabkan peningkatan dosis lingkungan yang berisiko melampaui NBD tahunan bagi pekerja radiasi maupun publik. Dengan demikian, pengukuran paparan dan kebocoran radiasi secara rutin menjadi kewajiban dalam program proteksi radiasi di rumah sakit. Salah satu instrumen utama yang digunakan dalam pemantauan tersebut adalah surveymeter, yaitu alat ukur yang digunakan untuk mengukur laju dosis atau intensitas radiasi secara langsung. Surveymeter sangat diperlukan dalam setiap pekerjaan yang menggunakan zat radioaktif atau sumber radiasi pengion lainnya sehingga pekerja radiasi dapat melakukan estimasi terhadap dosis radiasi yang diterima selama pelaksanaan kegiatan operasional[2].

Dalam konteks proteksi radiasi di rumah sakit, surveymeter digunakan untuk mengevaluasi tingkat paparan radiasi di area kerja, memverifikasi efektivitas perisai radiasi, serta memastikan bahwa kebocoran radiasi dari peralatan medis masih berada dalam batas yang diizinkan. Salah satu surveymeter yang sering digunakan yaitu surveymeter berbasis *Ionization Chamber* karena memiliki akurasi dan stabilitas pengukuran yang tinggi, serta respons yang baik terhadap variasi energi radiasi, sehingga sangat sesuai untuk pengukuran dosis lingkungan dan evaluasi kesesuaian terhadap NBD[1].

Meskipun surveymeter berbasis *Ionization Chamber* telah lama digunakan sebagai standar dalam pengukuran paparan dan kebocoran radiasi, penerapannya di lingkungan rumah sakit masih perlu dipahami secara komprehensif. Hal ini disebabkan adanya variasi kondisi klinis dan karakteristik lingkungan radiasi yang berbeda-beda, seperti perbedaan modalitas radiologi, konfigurasi ruangan, serta tingkat energi radiasi yang dapat memengaruhi hasil pengukuran dan interpretasi data dosis. Namun, kajian komprehensif yang membandingkan penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* pada berbagai modalitas klinis di rumah sakit masih terbatas.

Oleh karena itu, review jurnal ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* dalam mendeteksi dan mengukur paparan serta kebocoran radiasi di rumah sakit, dengan fokus pada perannya dalam pengendalian dosis lingkungan dan pemenuhan standar keselamatan radiasi. Analisis ini ditujukan untuk mengidentifikasi kondisi aplikasi klinis yang paling optimal bagi penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber*, sehingga dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat dalam pengambilan keputusan serta meningkatkan kualitas manajemen keselamatan radiasi di fasilitas kesehatan.

Surveymeter *Ionization Chamber*

Ionization chamber atau chamber ionisasi adalah bentuk paling sederhana dari detektor berisi gas yang digunakan mengukur laju paparan sinar-X dan radiasi gamma, serta dosis yang diserap melalui penerapan prinsip *Bragg-Gray*. Detektor ini beroperasi pada tegangan rendah yang tidak menimbulkan *avalanche* elektron dan tidak memiliki masalah respon tertunda. Chamber ionisasi juga dapat mendeteksi partikel alfa dan partikel beta dengan penerapan jendela tipis. Aplikasi yang memanfaatkan chamber ionisasi meliputi instrumen survei radiasi, kalibrator sumber radiasi, dan sistem pemantauan radiasi jarak jauh berbasis ionisasi[3].

Chamber ionisasi ini memanfaatkan kemampuan radiasi dalam menghasilkan ion digunakan sebagai alat untuk memperoleh pengukuran dosis radiasi yang akurat. Perangkat ini ditempatkan pada posisi-posisi penting di lingkungan institusi sehingga memungkinkan proses pengumpulan data dilakukan dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Detektor ini bekerja dengan mengukur ionisasi yang terjadi akibat paparan radiasi dalam volume gas kecil di dalam chamber,

sehingga dapat menentukan dosis di wilayah yang memiliki gradien dosis rendah. Ion chamber juga menjadi acuan dalam menilai kesesuaian dosis yang dihitung oleh sistem perencanaan radiasi (TPS) dengan dosis yang benar-benar terukur di phantom. Karakteristik tersebut menempatkan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* sebagai instrumen rujukan dalam pemantauan dosis lingkungan dan evaluasi keselamatan radiasi di fasilitas kesehatan[4].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis untuk mengevaluasi penggunaan Surveymeter berbasis *Ionization Chamber* dalam Pengukuran Kebocoran dan Paparan Radiasi di Rumah Sakit. Proses pengumpulan data dimulai dengan meninjau dan menganalisis 17 artikel dari berbagai database ilmiah seperti Google Scholar, ResearchGate, Elsevier, dan PubMed, dengan menggunakan kata kunci terkait *Ionization Chamber*, Paparan radiasi, Kebocoran Radiasi, dan Dosimetri Klinis, yang diterbitkan antara tahun 2021 hingga 2025. Tinjauan ini hanya mencakup bukti klinis dan hasil komparatif mengenai penggunaan Surveymeter berbasis *Ionization Chamber* dalam praktik pengukuran kebocoran dan paparan radiasi, untuk berbagai modalitas klinis. Artikel yang direview adalah penelitian yang dilakukan di lingkungan rumah sakit dan menggunakan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* sebagai alat utama pengukuran.

Penelitian yang dipilih mencakup berbagai modalitas klinis, termasuk Radioterapi, Radiologi Intervensional, dan Radiologi Diagnostik, yang digunakan untuk evaluasi paparan dan kebocoran radiasi di lingkungan kerja serta di sekitar peralatan medis. Data dari artikel-artikel tersebut dianalisis untuk mengidentifikasi kondisi aplikasi klinis yang paling sesuai bagi metode pengukuran yang digunakan. Dalam kajian ini, surveymeter berbasis *ionization chamber* dijelaskan sebagai detektor gas yang memiliki akurasi dan stabilitas tinggi dalam pengukuran paparan atau kebocoran radiasi, sehingga banyak digunakan untuk pemantauan dosis lingkungan, evaluasi keselamatan radiasi, dan keperluan kalibrasi standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada **Tabel 1.** di bawah ini disajikan ringkasan beberapa artikel penelitian yang membahas penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* dalam pendeteksian dan pengukuran paparan serta kebocoran radiasi di lingkungan rumah sakit. Ringkasan tersebut mencakup informasi mengenai penulis, tahun publikasi, jenis surveymeter yang digunakan, metode pengukuran, serta hasil utama penelitian.

Tabel 1. Penggunaan Surveymeter berbasis *Ionization Chamber* untuk Deteksi Paparan dan Kebocoran Radiasi

Nama Author (Tahun)	Surveymeter	Metode	Hasil
Alam, Meraj, et al. (2024)[5]	<i>Ion Chamber</i>	menggunakan surveymeter Ion Chamber untuk mendeteksi kebocoran radiasi (Leakage Radiation Dose) pada unit X-ray digital, dengan penempatan sensor pada jarak 1 meter dari <i>focal spot</i> saat <i>gantry</i> tertutup penuh.	kebocoran Kepala (<i>Leakage Dose</i>) terukur dan divalidasi sebagai <i>benchmark</i> yang akurat, menegaskan instrumen ini sesuai standar regulasi untuk pengukuran kebocoran.

Alomairy, Nada A. (2023)[6]	Ludlum Model 9DP-1 Ionization Chamber Dosimeter	menggunakan surveymeter Ion Chamber untuk mendeteksi paparan radiasi sekunder di 17 titik di area terkontrol dan tidak terkontrol di sekitar unit X-ray diagnostik.	Paparan Radiasi Sekunder tertinggi terukur adalah $0,40 \mu Sv/h$ di area terkontrol (unit Chest X-ray C). Laju dosis Paparan ini diverifikasi berada di bawah batas dosis yang diizinkan untuk pekerja ($20 \mu Sv/h$).
Cai, Bin, et al. (2021)[7]	Large volume spherical Ionization Chamber (Exradin A6)	menggunakan Ionization Chamber berkapasitas besar untuk mengukur tingkat radiasi di dalam ruangan (<i>in-room radiation levels</i>) dan kebocoran radiasi pada bidang <i>isocenter</i> linac Halcyon.	tingkat radiasi di dalam ruangan (di bidang <i>isocenter</i>) terukur. Pengukuran Ion Chamber ini memvalidasi desain perisai otomatis (<i>self-shielding</i>) alat dan menunjukkan bahwa tingkat kebocoran berada dalam batas yang aman.
Caravani, Kirstie, et al. (2022)[8]	Farmer Ionisation Chamber & Ionisation Chamber Survey Meter (Fluke 451P)	menggunakan surveymeter Farmer Ionisation Chamber untuk mendeteksi kebocoran yang <i>ditransmisikan</i> melalui <i>primary beam stopper</i> linac, dan IC Survey Meter untuk mendeteksi paparan sesaat (<i>dose rate</i>) <i>Head Leakage</i> dan hamburan pada jarak radial 1,5 m.	Transmisi <i>Head Leakage</i> yang melewati <i>primary beam stopper</i> terukur sebesar 0,012% dari dosis berkas utama. Dan Paparan sesaat dari <i>Head Leakage</i> dan radiasi hamburan terukur sekitar $70 mSv/hr$ pada jarak 1,5 m.
Hossain, Md. Faruk, et al. (2024)[4]	Ion Chamber Survey Meter	menggunakan surveymeter Ion Chamber untuk mendeteksi paparan radiasi kontinu di lingkungan kerja fasilitas Kedokteran Nuklir (ruang injeksi, <i>hot lab</i> , dll.) selama periode 6 bulan untuk memetakan Paparan pekerja.	paparan radiasi di kamar radioaktivitas dan ruang preparasi pasien terukur berkisar antara $0,8 \mu Sv/h - 1,0 \mu Sv/h$. Data ini digunakan untuk memetakan tingkat Paparan harian rata-rata di lingkungan kerja.
Kaur, Amanjot, et al. (2023)[9]	Farmer Ion Chamber & Ion Chamber Survey Meter	menggunakan surveymeter Farmer Ionisation Chamber untuk mendeteksi kebocoran (dosis berkas utama) sebagai acuan perhitungan fraksi <i>Head Leakage</i>	<i>Head Leakage</i> Maksimum yang ditentukan secara eksperimental dicatat sebagai fraksi $6,23 \times 10^{-4}$ dari maximum <i>absorbed dose rate</i> . Selain itu, Beban Kerja Kebocoran (<i>leakage</i>

		Maksimum, dan IC Survey Meter untuk mengestimasi <i>leakage workloads</i> (Beban Kerja Kebocoran) Halcyon.	workload) diestimasi sebesar $3,1 \times 10^9 \text{ cGy/wk}$ pada jarak 1 m.
Rana, Nivedita, et al. (2023)[10]	<i>Ionization Chamber-based calibrated survey monitor</i>	Metode yang digunakan untuk mengukur paparan laju dosis radiasi saat pemberian ^{13}N -ammonis (PET/CT) di Kedokteran Nuklir. Pengukuran dilakukan pada jarak 0,5 m dan 1,5 m dari lokasi injeksi untuk mengevaluasi paparan staf.	Laju Paparan terukur saat istirahat adalah $259 \mu\text{Sv/h}$ pada 0,5 m dan $53,4 \mu\text{Sv/h}$ pada 1,5 m. Laju Paparan terukur saat stres adalah $301 \mu\text{Sv/h}$ pada 0,5 m dan $67,25 \mu\text{Sv/h}$ pada 1,5 m.
Mohanan, Sarath K., et al. (2022)[11]	<i>Ionisation Chambers</i>	menggunakan surveymeter Ion Chamber untuk mendeteksi paparan dengan menguji <i>chip</i> ASIC yang dirancang untuk mengukur arus ionisasi ultra-rendah, yang berkorelasi langsung dengan laju Paparan (<i>dose rate</i>).	Pengujian ASIC berhasil mendemonstrasikan pengukuran Laju Paparan pada rentang dinamis yang sangat luas, dari $5 \mu\text{Sv/h}$ hingga $7,4 \text{ Sv/h}$, dengan akurasi pengukuran kurang dari $\pm 4\%$
Mustafa, Nuha Salih, and Hamed A Ismail (2024)[12]	<i>Ion Chamber Survey Meter</i>	Digunakan untuk melakukan uji Radiation Leakage (<i>Kebocoran Radiasi</i>) di sekitar <i>housing</i> tabung X-ray konvensional dan kolimator. Pengujian dilakukan di berbagai titik di luar sumber sinar-X sebagai bagian dari QC.	Kebocoran Radiasi terukur di sekitar <i>housing</i> tabung dan kolimator. Nilai kuantitatif Kebocoran ditemukan berada dalam batas standar yang ditetapkan (di bawah 1 mGy/h pada 1 meter).
Purwitasari, Iqna, et al. (2025)[1]	<i>Survey Meter (Ion Chamber Survey Meter)</i>	Pengukuran laju dosis Paparan Radiasi X-ray dilakukan di 10 titik pengukuran (di ruang pemeriksaan dan di luar ruang kontrol). Setiap titik diukur 3 kali dan dibandingkan dengan NBD BAPETEN ($0,25 \mu\text{Sv/h}$).	Nilai Paparan Radiasi di 10 titik pengukuran terukur berkisar antara $0,12 \mu\text{Sv/h}$ hingga $0,18 \mu\text{Sv/h}$. Tingkat Paparan ini diverifikasi di bawah NBD BAPETEN ($0,25 \mu\text{Sv/h}$).
Saini, Priya, et al. (2022)[13]	<i>Ionization Chamber</i>	Digunakan sebagai instrumen dalam program mendeteksi paparan	Pengukuran Dosis/Paparan menunjukkan hasil yang digunakan

		(dosis) yang diterima pasien. Pengukuran Dosis/Paparan ini adalah bagian dari program Quality Control (QC) untuk optimasi protokol klinis.	untuk optimasi protokol klinis, memastikan citra diagnostik memadai dengan minimum dosis (Paparan) kepada pasien, sebagai inti dari Program <i>Quality Assurance</i> .
Singh, Sandeep, et al. (2025)[14]	<i>Pressurized Ionization Chamber-based Survey Meter (SM) & Vented Ionization Chamber (ICs)</i>	menggunakan surveymeter Ion Chamber (Pressurized IC-SM) untuk mendeteksi kebocoran radiasi (<i>Head Leakage Radiation</i>) CyberKnife pada 500 MU, dan Vented IC untuk memvalidasi nilai kebocoran.	kebocoran <i>Head Leakage</i> terukur menggunakan Pressurized IC-SM adalah 0,010% (sebagai fraksi dosis serap maksimum). Pengukuran menggunakan Vented IC menunjukkan konsistensi data.
Vlachos, Ioannis, et al. (2021)[15]	<i>451P Fluke Biomedical Survey Meter (Ionization Chamber)</i>	untuk mendeteksi paparan radiasi sekunder di ruang radiografi. Mengukur laju Paparan (<i>mSv/hr</i>) dari radiasi hamburan sebagai fungsi dari faktor eksposur X-ray pada berbagai jarak dari <i>phantom</i> air.	Laju dosis Paparan radiasi hamburan terukur menurun secara signifikan dengan bertambahnya jarak radial. Dosis Paparan juga dapat dikurangi dengan penambahan filtrasi 2.0 <i>mmAl</i> pada 100 <i>kVp</i> .
Watanabe dkk. (2024)[16]	<i>Ionization Chamber</i>	Investigasi paparan radiasi pada staf medis selama Fluoroskopi Lateral pada operasi <i>Posterior Spinal Fusion</i> .	Dosis radiasi tertinggi diterima oleh Primary Surgeons dan <i>scrub nurse</i> di dekat meja operasi.
Yıldız, A., et al. (2022)[17]	<i>Ion Chamber Survey Meter</i>	menggunakan surveymeter Ion Chamber untuk mendeteksi paparan radiasi X-ray di lingkungan kerja (ruangan) dan dibandingkan dengan batas dosis yang diizinkan sebagai bagian dari analisis kesehatan dan keselamatan kerja.	paparan radiasi di lingkungan kerja terukur, menunjukkan bahwa tindakan pencegahan yang ada efektif karena Paparan berada di bawah batas dosis aman yang ditetapkan.

Berdasarkan penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa surveymeter berbasis *Ionization Chamber* banyak digunakan di rumah sakit untuk mengukur paparan dan kebocoran radiasi. Alat ini diterapkan pada berbagai modalitas klinis, seperti radiologi diagnostik, radiologi intervensional, radioterapi, dan kedokteran nuklir. Tujuan utamanya adalah untuk memastikan bahwa paparan radiasi yang diterima lingkungan, pekerja radiasi, serta kebocoran dari peralatan medis tetap berada di bawah NBD yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, pembahasan ini

membandingkan metode pengukuran dan hasil dari beberapa penelitian guna melihat konsistensi dan efektivitas penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* dalam mendukung keselamatan radiasi di rumah sakit.

Pada pengukuran kebocoran radiasi peralatan sinar-X dan radioterapi, beberapa penelitian menekankan kemampuan *Ionization Chamber* dalam mendeteksi *head leakage* dan radiasi transmisi secara akurat. Penelitian oleh Alam, Meraj, et al. (2024) serta Mustafa dan Ismail (2024) menunjukkan bahwa kebocoran radiasi di sekitar selubung tabung dan sistem kolimasi sinar-X dapat terukur dengan baik menggunakan surveymeter Ion Chamber, dengan hasil yang berada dalam batas standar keselamatan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Cai et al. (2021) yang menggunakan *large volume spherical ionization chamber* untuk mengukur tingkat radiasi di dalam ruangan dan kebocoran pada linac Halcyon, di mana hasil pengukuran menunjukkan bahwa desain pelindung alat bekerja dengan baik dan kebocoran radiasi masih berada pada tingkat yang aman. Sementara itu, Caravani et al. (2022), Kaur et al. (2023), dan Singh et al. (2025) menggunakan kombinasi Farmer *Ionization Chamber* dan surveymeter Ion Chamber untuk mengevaluasi transmisi *head leakage* pada sistem linac dan *CyberKnife*, dengan hasil yang menunjukkan bahwa nilai kebocoran radiasi pada sistem linac dan *CyberKnife* relatif kecil jika dibandingkan dengan dosis berkas utama. Hasil-hasil ini menegaskan bahwa *Ionization Chamber* merupakan alat yang baik untuk mengevaluasi kebocoran radiasi dan efektivitas sistem pelindung radiasi.

Dalam pengukuran paparan radiasi lingkungan dan paparan pekerja radiasi, surveymeter berbasis *Ionization Chamber* juga menunjukkan kinerja yang stabil pada berbagai kondisi klinis. Penelitian oleh Alomairy (2023), Purwitasari et al. (2025), Yıldız et al. (2022), dan Vlachos et al. (2021) mengukur laju dosis paparan radiasi di area terkontrol dan tidak terkontrol di sekitar unit radiologi diagnostik. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa paparan radiasi sekunder dan radiasi hamburan terukur berada di bawah batas dosis yang diizinkan. Selain itu, laju paparan radiasi cenderung menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Hal ini menunjukkan bahwa surveymeter berbasis *Ionization Chamber* cukup sensitif terhadap perubahan jarak, kondisi ruangan, dan faktor eksposur, sehingga efektif digunakan untuk memantau keselamatan radiasi di lingkungan kerja.

Pada fasilitas kedokteran nuklir dan prosedur medis yang melibatkan paparan radiasi kontinu, seperti pada penelitian Hossain et al. (2024), Rana et al. (2023), dan Watanabe et al. (2024), *Ionization Chamber* digunakan untuk memetakan distribusi paparan radiasi pada berbagai lokasi dan peran tenaga medis. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa paparan tertinggi umumnya diterima oleh petugas yang berada paling dekat dengan sumber atau pasien, seperti ruang injeksi, *hot lab*, atau disekitar meja operasi saat prosedur fluoroskopi. Meskipun demikian, nilai paparan yang terukur masih berada dalam rentang yang dapat diterima, sehingga mendukung penerapan prinsip ALARA dalam praktik klinis. Hal ini menegaskan pentingnya pemantauan dosis berbasis *Ionization Chamber* untuk evaluasi risiko paparan dan perencanaan proteksi radiasi yang lebih efektif.

Selain digunakan secara langsung di area klinis, surveymeter berbasis *Ionization Chamber* juga memiliki peran penting dalam pengembangan sistem dosimetri dan pelaksanaan kegiatan *quality control* peralatan medis. Penelitian oleh Mohanan et al. (2022) menunjukkan bahwa *Ionization Chamber* mampu mendeteksi dan mengukur arus ionisasi yang sangat kecil dengan tingkat akurasi tinggi pada rentang pengukuran yang luas, sehingga memungkinkan evaluasi laju dosis radiasi secara presisi pada kondisi paparan rendah hingga tinggi. Kemampuan ini menjadikan *Ionization Chamber* relevan dalam pengujian dan validasi perangkat dosimetri yang digunakan untuk pemantauan paparan radiasi. Selain itu, penelitian oleh Saini et al. (2022) menunjukkan bahwa *Ionization Chamber* berperan dalam pengukuran dosis pasien sebagai bagian dari program *quality control* dan *quality assurance*, khususnya dalam proses optimasi protokol klinis untuk memperoleh kualitas citra diagnostik yang memadai dengan dosis radiasi serendah mungkin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *Ionization Chamber* tidak hanya berfungsi sebagai alat survei lapangan untuk pemantauan paparan lingkungan, tetapi juga

sebagai instrumen acuan dalam proses kalibrasi dosimetri dan evaluasi kinerja sistem radiologi guna mendukung keselamatan radiasi dan penerapan prinsip ALARA di rumah sakit.

Secara keseluruhan, hasil penelitian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan surveymeter berbasis *Ionization Chamber* memberikan hasil pengukuran yang konsisten dan reliabel pada berbagai modalitas klinis. Alat ini terbukti efektif dalam mendeteksi paparan dan kebocoran radiasi, serta membantu memastikan bahwa dosis radiasi tetap sesuai dengan batas keselamatan yang ditetapkan. Meskipun terdapat variasi metode pengukuran, jenis alat, dan kondisi klinis, penelitian-penelitian tersebut secara umum menunjukkan bahwa *Ionization Chamber* merupakan pilihan yang tepat untuk pemantauan dosis lingkungan dan pengendalian keselamatan radiasi di rumah sakit. Pemanfaatan data hasil pengukuran *Ionization Chamber* yang dikombinasikan dengan sistem manajemen keselamatan radiasi serta pelaksanaan evaluasi berkala terhadap peralatan medis dapat meningkatkan efektivitas upaya perlindungan radiasi bagi pekerja radiasi, pasien, dan masyarakat.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa surveymeter berbasis *Ionization Chamber* merupakan instrumen yang efektif dan memiliki reliabilitas yang tinggi dalam pengukuran paparan serta kebocoran radiasi di lingkungan rumah sakit. Penggunaan *Ionization Chamber* pada berbagai modalitas klinis, termasuk radiologi diagnostik, radiologi intervensional, radioterapi, dan kedokteran nuklir, menunjukkan hasil pengukuran yang konsisten dalam memastikan dosis radiasi lingkungan, pekerja radiasi, serta kebocoran dari peralatan medis dimana tetap berada di bawah NBD yang ditetapkan. Selain itu, *Ionization Chamber* efektif dalam mendukung kegiatan *quality control*, kalibrasi dosimetri, dan optimasi protokol klinis, serta mendukung penerapan prinsip ALARA dalam praktik klinis. Sehingga *Ionization Chamber* sangat baik digunakan dalam pengendalian dosis lingkungan serta pemenuhan standar keselamatan radiasi di fasilitas kesehatan, guna meningkatkan perlindungan bagi pekerja radiasi, pasien, dan masyarakat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan kepada Ibu Erlinda Ratnasari Putri, M.Si dan Ibu Fatimah Kunti Hentihu, M.Si yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta ilmu yang sangat berharga dalam penulisan jurnal ini. Terimakasih kami ucapkan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Mulawarman atas dukungan fasilitas yang diberikan dalam penulisan jurnal ini. Tak lupa juga kami ucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Iqna, A. Nugroho, and A. P. Utami, "Safety analysis of X-ray radiation exposure in installation," *Int. J. Heal. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 26–36, 2025, doi: 10.31101/ijhst.v7i1.4035.
- [2] I. Andriani and M. Jamil, "Testing the Radiation Dose Exposure Rate in the CT-Scan Room of Radiology Installation of Private Hospitals in Kudus City under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)," *J. eduhealth*, vol. 14, no. 01, p. 2023, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.seaninstitute.or.id/index.php/health>
- [3] M. I. Ahmad, M. H. Mohd, R. Nordin, F. Mohamed, A. Abu-Samah, and N. F. Abdullah, "Ionizing radiation monitoring technology at the verge of internet of things," *Sensors*, vol. 21, no. 22, pp. 1–29, 2021, doi: 10.3390/s21227629.
- [4] M. F. Hossain *et al.*, "Workplace Radiation Monitoring and Analysis: A Single Institution Based Study," *Bangladesh J. Nucl. Med.*, vol. 27, no. 1, pp. 39–43, 2024, doi: 10.3329/bjnm.v27i1.71530.

- [5] M. Alam, "Comparative Study Of Two Methods For Assessing Leakage Radiation Dose In Digital X-Ray Machine: Regulatory Compliance," *Educ. Adm. Theory Pract.*, vol. 30, no. 5, pp. 12831-12836, 2024, doi: 10.53555/kuey.v30i5.5421.
- [6] N. A. Alomairy, "Assessment of secondary radiation dose in radiology departments," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 16, no. 4, p. 100726, 2023, doi: 10.1016/j.jrras.2023.100726.
- [7] B. Cai *et al.*, "Technical Note: Self-shielding evaluation and radiation leakage measurement of a jawless ring gantry linac with a beam stopper," *Med. Phys.*, vol. 48, no. 6, pp. 3143-3150, 2021, doi: 10.1002/mp.14858.
- [8] K. Caravani, R. Murry, and B. Healy, "Characterisation of in-room leakage and scattered radiation for the Varian Halcyon linear accelerator," *Phys. Eng. Sci. Med.*, vol. 45, no. 1, pp. 73-81, 2022, doi: 10.1007/s13246-021-01084-1.
- [9] A. Kaur, G. Sahani, A. Shrivastava, and P. N. Pawaskar, "Optimization of Radiation Shielding Considerations for Designing Halcyon Vault," *J. Med. Phys.*, vol. 48, no. 1, pp. 1-12, 2023, doi: 10.4103/jmp.jmp_86_22.
- [10] A. Singhal, B. Chandra, and S. Seth, "Home | About IJNM | Search | Current Issue | Past Issues | Instructions | Ahead of Print | Online submission | Login Editorial Board | Subscribe | Advertise | Contact," no. 4, pp. 359-362, 2019, doi: 10.4103/ijnm.IJNM.
- [11] S. K. Mohanan, H. Boukabache, V. Cruchet, D. Perrin, S. Roesler, and U. R. Pfeiffer, "An Ultra Low Current Measurement Mixed-Signal ASIC for Radiation Monitoring Using Ionisation Chambers," *IEEE Sens. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 2142-2150, 2022, doi: 10.1109/JSEN.2021.3132498.
- [12] N. Salih Mustafa Hamed, "Quality Control of Conventional X-Ray Machine at Najran University Hospital Radiology Department," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 896-899, 2024, doi: 10.21275/sr24207214732.
- [13] P. Saini, K. Jheeta, M. Stephen, M. Joan, R. Dana, and A. Pradhan, "a Radiation Safety Assessment of X-Ray Diagnostic Units in S.M.S Hospital Jaipur: an Institutional Study," *Int. J. Adv. Res.*, vol. 10, no. 04, pp. 13-20, 2022, doi: 10.21474/ijar01/14670.
- [14] S. Singh *et al.*, "Quantification of head leakage radiation in CyberKnife robotic radiosurgery systems using a multimodal approach," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1-10, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-18689-1.
- [15] I. Vlachos, I. Kandarakis, and G. Panayiotakis, "Secondary Radiation Mapping," *Paripex Indian J. Res.*, no. 2250, pp. 162-166, 2021, doi: 10.36106/paripex/5311640.
- [16] S. Watanabe *et al.*, "Investigation of Radiation Exposure of Medical Staff During Lateral Fluoroscopy for Posterior Spinal Fusion Surgery," *J. Clin. Med.*, vol. 13, no. 21, 2024, doi: 10.3390/jcm13216442.
- [17] A. Yıldız, E. Köse, and Ö. C. Demirtaş, "Analysis of precautions taken for protection from X-rays in a hospital in Gaziantep in the context of workplace health and safety," *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, vol. 15, no. 4, p. 100453, 2022, doi: 10.1016/j.jrras.2022.08.004.