

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi membawa pengaruh kemajuan yang signifikan dalam berbagai sektor kehidupan manusia. Salah satu kemajuan yang paling dapat dirasakan dalam dunia kesehatan yaitu pemanfaatan sumber radiasi dalam berbagai proses radiologi. Kemajuan dalam pemanfaatan sumber radiasi tersebut diawali dari penemuan sinar-X oleh Wilhem Roentgen pada tahun 1895 sebagai salah satu jenis sumber radiasi (Yuliamdani, 2020). Radiasi merupakan energi yang dipancarkan atau dihasilkan dari perambatan melalui suatu materi atau ruang dalam bentuk gelombang elektromagnetik, partikel, dan panas (Nugraheni et al., 2022). Secara umum, radiasi terbagi menjadi dua jenis yaitu radiasi pengion dan radiasi non-pengion (Ari et al., 2025). Salah satu pemanfaatan radiasi pengion yaitu dalam bidang radiodiagnostik.

Radiodiagnostik merupakan salah satu cabang radiologi yang fokus utamanya yaitu memberikan gambaran mengenai bagian dalam tubuh manusia (citra tubuh) secara non-invasif. Gambaran bagian dalam tubuh manusia tersebut umumnya digunakan untuk mendiagnosis suatu penyakit (Dian Pratiwi & Yunawati, 2021). Radiodiagnostik memanfaatkan radiasi pengion dalam prosesnya untuk menghasilkan citra anatomi tubuh. Pada radiodiagnostik umumnya terdapat banyak sekali modalitas yang digunakan untuk menghasilkan citra tubuh, salah satunya yaitu pesawat sinar-X konvensional dan panoramik. Modalitas pencitraan pesawat sinar-X konvensional dan panoramik dalam mencitrakan bagian tubuh manusia memiliki aspek kesamaan dan perbedaan. Pesawat sinar-X konvensional merupakan salah satu modalitas pencitraan dalam radiodiagnostik yang dapat menghasilkan gambaran pada berbagai bagian tubuh, sedangkan pesawat sinar-X panoramik memberikan gambaran meliputi bagian rahang manusia. Meskipun demikian, pesawat sinar-X konvensional maupun panoramik mempunyai kesamaan yaitu penggunaan sinar-X sebagai sumber radiasi pengionnya.

Sinar-X merupakan salah satu jenis radiasi pengion yang mempunyai energi yang cukup besar sehingga mampu untuk melepaskan elektron dalam suatu materi (Aji & Mandagi, 2023). Sejak penemuannya, sinar-X banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang kedokteran. Salah

satunya dalam bidang radiodiagnostik untuk citra medis. Sinar-X memiliki karakteristik berupa daya tembus terhadap materinya yang besar serta daya penyerapan pada bahan yang tinggi mejadikannya sumber radiasi efektif yang digunakan untuk pencitraan (Seeram, 2010a). Namun, paparan radiasi sinar-X juga dapat menimbulkan berbagai efek berbahaya bagi kesehatan biologis baik yang bersifat deterministik maupun stokastik (Putri & Jeniyanthi, 2025). Oleh karena itu, penggunaan sinar-X dalam bidang radiodiagnostik harus memperhatikan sistem proteksi radiasi.

Mengutip dari peraturan BAPETEN No.04 Tahun 2020 bahwa “Proteksi Radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk mengurangi pengaruh radiasi yang merusak akibat paparan radiasi” (Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2020). Peraturan BAPETEN tersebut menekankan pentingnya proteksi radiasi dalam upaya menghindari berbagai efek biologis yang tidak diinginkan baik terhadap pekerja radiasi, pasien, maupun masyarakat. Selain BAPETEN, terdapat regulasi internasional yang juga membahas akan pentingnya proteksi radiasi seperti ICRP (*International Commission on Radiological Protection*) yang menekankan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*). Demikian pentingnya proteksi radiasi sehingga mendapat perhatian dan pembahasan khusus.

Menurut Peraturan Pemerintah no. 45 Tahun 2023 dijelaskan bahwa harus dilakukan verifikasi atas program proteksi radiasi dan keselamatan radiasi (Pemerintah, 2023). Pelaporan mengenai verifikasi proteksi radiasi tersebut berupa verifikasi keselamatan yang diajukan satu kali dalam satu tahun kepada Kepala BAPETEN. Salah satu aspek yang harus dilaporkan pada saat verifikasi keselamatan adalah pemantauan daerah kerja dan radioaktivitas lingkungan. Pemantauan daerah kerja tersebut dilakukan dengan pengukuran nilai laju paparan radiasi.

Kasus-kasus akibat paparan radiasi yang tidak diinginkan pada bidang radiologi dapat memperkuat akan pentingnya proteksi radiasi. Salah satu contoh kasusnya yaitu terdapat dalam penelitian yang dilakukan di Rumah sakit Kupang. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa paparan radiasi pengion mengakibatkan adanya penurunan jumlah leukosit pada pekerja (Selly et al., 2022). Studi penelitian di salah satu rumah sakit Indonesia menunjukkan bahwa masih terdapat rumah sakit yang belum optimal dalam upaya menerapkan sistem proteksi radiasi (Leny & Nuramdiani, 2024). Penelitian lain yang berkenaan dengan evaluasi pelaksanaan, perhatian, dan tingkat penilaian resiko perlindungan radiasi pada di rumah sakit Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 69,3% tingkat pelaksanaan rendah dalam perlindungan radiasi (Arrah & Sadewa, 2011). Hal ini

menunjukkan bahwa proteksi radiasi masih menjadi tantangan yang nyata dalam upaya penegakkaya di lapangan.

Salah satu penelitian yang dilakukan di beberapa rumah sakit yang ada di Kota Semarang menunjukkan bahwa hanya terdapat satu rumah sakit yang aman dan tidak terjadi kebocoran (Rochmayanti et al., 2018). Keadaan tersebut memberikan penegasan bahwa dalam upaya proteksi radiasi tidak cukup dilakukan dengan hanya melihat pada kondisi keadaan awal. Akan tetapi, diperlukan adanya proses validasi berkala untuk memastikan keadaan pada ruang radiologi masih tetap terjaga efektivitasnya. Mengingat kondisi struktur bangunan ruang radiasi yang dapat saja berubah ketika terjadi bencana alam, salah satunya yaitu ketika terjadi bencana gempa (Suwandi et al., 2021).

Banyak penelitian sebelumnya yang melakukan pengukuran paparan radiasi secara eksperimen maupun simulasi menggunakan Monte Carlo FLUKA. Contohnya yaitu pada Tahun 2021 dilakukan penelitian mengenai pengujian paparan radiasi di ruangan panoramik menggunakan metode pengukuran surveimeter di RSUD Kabupaten Tangerang (Tunggadewi et al., 2021). Hasil penelitian menyatakan bahwa jarak berpengaruh terhadap paparan dan nilai paparan radiasi yang terukur masih meunjukkan tingkat yang aman untuk pekerja radiasi dan masyarakat. Pada tahun 2024 dilakukan penelitian untuk mengukur laju paparan di ruangan pesawat sinar-X konvensional. Kesimpulan dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai laju paparan radiasi yang diperoleh tidak melebihi batas yang ditetapkan oleh BAPETEN (Iskandar, 2024). Tahun 2023, dilakukan penelitian oleh Wildan Muhammad Zyan yang memvalidasi sebaran dosis radiasi di ruang radiagnostik dan radioterapi menggunakan simulasi metode Monte Carlo. Penelitian tersebut membuktikan bahwa simulasi Monte Carlo FLUKA mempunyai validitas yang tinggi dengan nilai *relative error* yang kecil yaitu berada di bawah 1% menggunakan nilai *relative error* (Zyan, 2023). Selanjutnya, pada tahun 2024 dilakukan penelitian oleh Siva Aulia Shafira untuk mengukur laju dosis di sekitar ruang radioterapi menggunakan metode simulasi Monte Carlo FLUKA. Hasilnya dapat dilihat bahwa terdapat beberapa kebocoran yaitu diarea titik A, C, dan D, tetapi menunjukkan nilai yang mendekati dengan pengukuran di titik B dan E. Hal tersebut dapat dipegaruhi karena perubahan pada ukuran pintu dan material bahan yang digunakan. Nilai *relative error* yang cukup rendah dibawah 5% menunjukkan bahwa metode simulasi Monte Carlo FLUKA memiliki akurasi yang tinggi untuk mensimulasikan distribusi dosis. Tahun 2025 telah dilakukan juga penelitian untuk membandingkan hasil simulasi reaksi Cyclotron pada 30 MeV antara Geant4 dan FLUKA. Perbandingan tersebut digunakan untuk melihat optimasi

ketebalan terget, evaluasi fluensi neutron, spektrum energi, dan dosis ekivalen. Hasilnya menunjukkan bahwa kedua metode simulasi tersebut sama-sama dapat memberikan hasil gambaran reaksi yang baik dan keduanya dikategorikan layak untuk digunakan sebagai metode simulasi (Demirkoz & M.B., 2025). Penelitian lainnya yaitu tahun 2025 yang dilakukan untuk mengevaluasi fluensi berkas proton dan partikel alpha untuk melihat deposisi energi dalam memperkirakan kerusakan pada DNA. Untuk memperoleh fluensi tersebut, Monte Carlo FLUKA dapat memberikan gambaran simulasi lintasan dan interaksi proton dan alpha dengan detail dan baik di dalam nukleus maupun sitoplasma (Raposo & Hormaza, 2025).

Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa proteksi radiasi tetap terpenuhi, maka salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan pengukuran paparan radiasi di sekitar ruang radiologi. Pengukuran ini dapat dilakukan dengan memadukan metode pengukuran secara eksperimen dan simulasi berbasis Monte Carlo FLUKA. Pendekatan metode ini dapat membantu mengevaluasi nilai paparan radiasi secara lebih akurat dan dapat membantu memprediksi daerah dengan paparan tinggi. Perpaduan antara pengukuran secara eksperimen dan simulasi tersebut juga tidak hanya dapat menguatkan validitas hasil data simulasi, tetapi juga dapat digunakan sebagai identifikasi potensi kebocoran radiasi dan evaluasi terhadap desain dan kualitas *shielding* yang telah digunakan sebagai penghalang radiasi selama proses pencitraan medis.

Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Bandung Kiwari merupakan salah satu rumah sakit yang berada di Kota Bandung. Rumah sakit ini merupakan salah satu rumah sakit rujukan utama yang dikelola oleh Pemerintah Kota Bandung dan memiliki peran penting dalam memberikan pelayanan kesehatan kepada masyarakat, terutama untuk memberikan pencitraan medis pada instalasi radiologi. Salah satu alat radiodiagnostik yang terdapat di instalasi radiologi RSUD Bandung Kiwari yaitu pesawat sinar-X konvensional dan panoramik. Adanya sumber radiasi yang berasal dari pesawat sinar-X konvensional dan panoramik tersebut mengharuskan adanya pengukuran nilai laju paparan radiasi di sekitar ruangan alat tersebut; sebagai upaya untuk memastikan bahwa standar proteksi radiasi dapat terpenuhi. Pada tahun 2025, pengukuran nilai laju paparan radiasi di RSUD Bandung Kiwari belum dilaksanakan. Oleh karena itu pemilihan RSUD Bandung Kiwari sebagai lokasi penelitian adalah karena rumah sakit ini memiliki sarana radiologi yang lengkap dan masih aktif digunakan setiap hari dalam pelayanan pasien, sehingga diperlukan adanya pengukuran dan validasi terhadap nilai laju paparan dosis radiasi di sekitar ruangan pesawat sinar-X konvensional dan panoramik.

Selain itu, peneliti sudah menjalin koordinasi langsung dengan pihak rumah sakit, terutama dengan Fisikawan Medik di instalasi radiologi. Melalui kerja sama ini, diharapkan hasil penelitian mampu memberikan manfaat nyata, dalam verifikasi keselamatan kerja di Instalasi Radiologi RSUD Bandung Kiwari berdasarkan pelaporan nilai laju paparan radiasi yang didapatkan disekitar sumber pesawat sinar-X konvensional dan panoramik.

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian tentang **“Validasi Laju Paparan Radiasi di Ruang Pesawat Sinar-X Konvensional dan Panoramik RSUD Bandung Kiwari : Eksperimen dan Simulasi”** perlu dilakukan. Penelitian ini juga diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan metode pengukuran nilai laju paparan radiasi berbasis simulasi Monte Carlo FLUKA.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah yang diteliti penulis ini adalah:

1. Berapakah nilai laju paparan radiasi yang terukur di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari secara eksperimen?
2. Berapakah nilai laju paparan radiasi yang diperoleh melalui simulasi Monte Carlo FLUKA di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik?
3. Bagaimana validasi nilai laju paparan radiasi pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari secara simulasi menggunakan eksperimen?
4. Apakah nilai laju paparan radiasi di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari sudah dalam batas aman sesuai dengan standar proteksi radiasi?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah bertujuan agar sebuah penelitian dalam pembahasannya lebih terarah dan terperinci, sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Ruang lingkup yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Secara eksperimen, penelitian ini hanya mengukur nilai laju paparan radiasi menggunakan surveimeter di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari.
2. Simulasi penelitian ini menggunakan Monte Carlo dengan *software* FLUKA untuk mengetahui nilai laju paparan radiasi.
3. Pemodelan geometri ruangan radiologi pada penelitian yaitu menggunakan *graphical user interface flair geoviewer* dari *software* FLUKA.
4. Data yang digunakan pada dokumen program proteksi radiasi berupa spesifikasi alat dan ruangan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur nilai laju paparan radiasi di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari.
2. Memvalidasi hasil nilai laju paparan radiasi yang diperoleh dari pengukuran simulasi menggunakan eksperimen.
3. Mengidentifikasi nilai laju paparan radiasi di sekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik di RSUD Bandung Kiwari dengan nilai standar proteksi radiasi yang telah ditetapkan BAPETEN.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai nilai laju paparan radiasi disekitar ruang pesawat sinar-X konvensional dan panoramik sebagai bagian dari laporan verifikasi keselamatan. Memvalidasi, dan memverikasi serta menambah keyakinan bahwa Monte Carlo FLUKA dapat digunakan sebagai simulasi untuk melihat nilai laju

paparan radiasi . Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam peningkatan budaya keselamatan kerja di bidang radiologi diagnostik melalui penerapan prinsip proteksi radiasi yang lebih optimal dan berbasis bukti ilmiah.

1.6 Skematika Penulisan

Secara sistematis, pembahasan penulisan proposal ini terdiri dari setiap bab sebagai berikut:

1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisikan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisikan tinjauan pustaka penunjang penelitian yang akan lakukan.

3. BAB III Metodologi Penelitian

BAB ini berisikan setiap proses yang dilakukan selama penelitian, dimulai dari waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, dan tahapan penelitian dari pemodelan ruangan hingga tahapan pengolahan data.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil penelitian dari eksperimen dan simulasi yang dilakukan serta analisis terhadap data – data yang telah didapatkan.

5. BAB V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang dilakukan, serta saran untuk penelitian lanjutan.