

Analisis Desain Dinding Penahan Radiasi Ruang Radiografi Umum pada Salah Satu Rumah Sakit di Kota Palangka Raya

Nawang Wulan¹, Jhon Wesly Manik², Luqman Hakim³

Program Studi Fisika, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, Indonesia

Email korespondensi: luqman_u@mipa.upr.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan pesawat sinar X dapat membawa dampak negatif untuk pekerja dan masyarakat sehingga harus memperhatikan aspek proteksi radiasi seperti penggunaan dinding penahan radiasi yang berfungsi untuk menyerap dan mengatenuasi paparan radiasi yang dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan analisis desain dinding penahan radiasi. Dalam analisis ini dilakukan pengukuran laju paparan radiasi dengan menggunakan *Surveymeter Gamma* dan perhitungan ketebalan Pb menggunakan metode fitting dan aljabar yang direkomendasikan oleh NCRP No. 147. Pengukuran dan perhitungan Pb di bagi dalam 2 daerah yaitu pada daerah terkontrol (titik b, titik c, dan titik f) dan daerah tidak terkontrol (titik a, titik d, titik e, titik g, dan titik h). Hasil pengukuran dan perhitungan dari delapan titik proteksi ini didapatkan laju paparan radiasi pada daerah terkontrol di titik b ($0,052 \mu\text{Sv/jam}$), titik c ($0,042 \mu\text{Sv/jam}$), dan titik f ($0,055 \mu\text{Sv/jam}$), dan hasil perhitungan ketebalan pb di titik b (0,07 mm), titik c (0,034 mm), dan titik f (0,18 mm). Sedangkan laju paparan radiasi pada daerah tidak terkontrol di titik a ($0,480 \mu\text{Sv/jam}$), titik d ($0,068 \mu\text{Sv/jam}$), titik e ($0,075 \mu\text{Sv/jam}$), titik g ($0,418 \mu\text{Sv/jam}$), dan titik h ($0,453 \mu\text{Sv/jam}$), dan hasil perhitungan ketebalan pb di titik a (0,46 mm), titik d (0,08 mm), titik e (0,071 mm), titik g (0,038 mm), dan titik h (0,005 mm). Berdasarkan hasil tersebut, nilai laju paparan radiasi di daerah terkontrol masih dalam batas aman dan di daerah tidak terkontrol laju paparan radiasi yang terjadi berada di atas ambang batas dari nilai pembatas dosis yang ditetapkan oleh NCRP No. 147.

Masuk:

3 Maret 2025

Diterima:

12 Maret 2025

Diterbitkan:

17 Maret 2025

Kata kunci:

NCRP No. 147, penahan radiasi, ruang radiografi umum, surveymeter.

1. Pendahuluan

Di era globalisasi, teknologi mengalami kemajuan yang pesat dan telah merambah ke berbagai lini kehidupan termasuk di bidang kesehatan [1]. Kemajuan teknologi kesehatan berperan penting dalam pelayanan kesehatan yang mampu meningkatkan kualitas hidup manusia. Untuk mendapatkan pelayanan kesehatan yang memadai, rumah sakit menjadi tempat rujukan dengan metode dan fasilitas yang lengkap [2]. Salah satu fasilitas pelayanan kesehatan di rumah sakit adalah pelayanan radiologi yang membantu dalam melakukan diagnosa medis untuk keperluan pemeriksaan pasien.

Radiologi adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan teknologi pencitraan untuk melihat bagian tubuh manusia dengan menggunakan pancaran atau radiasi gelombang [3]. Radiologi dibagi menjadi dua yaitu radiologi diagnostik dan intervensional, radiologi diagnostik mengacu pada kegiatan yang berhubungan dengan penggunaan semua modalitas yang memanfaatkan radiasi pengion untuk diagnosis. Sedangkan pada intervensional adalah sub-spesialisasi medis radiologi untuk mendiagnosis dan mengobati penyakit menggunakan teknik noninvasif yang tersedia untuk meminimalkan resiko pada pasien dan mengoptimalkan manfaatnya [4]. Pada pelayanan radiologi, rumah sakit memiliki berbagai macam alat yang salah satu di antaranya adalah pesawat sinar X radiografi umum.

Pesawat sinar X radiografi umum adalah pesawat sinar X yang digunakan dalam menghasilkan citra radiografi untuk diagnosis penyakit dan tindak lanjut pasien dengan memanfaatkan radiasi pengion sebagai sumber energi utamanya. Radiasi pengion adalah jenis radiasi yang dapat mengionisasi atom-atom atau materi yang dilaluinya [5]. Pesawat sinar X radiografi umum merupakan bagian terbesar dari aplikasi radiasi di bidang medik pada pemeriksaan radiologi diagnostik yang dapat membawa dampak negatif terhadap pekerja dan masyarakat seiring dengan besar dosis paparan radiasi yang dihasilkan [6].

Di samping itu, paparan radiasi sinar X memiliki sifat yang dapat merusak sel-sel tubuh manusia sehingga mengakibatkan perubahan atau mutasi sel atau gen yang kemudian dapat mempengaruhi sistem kerja tubuh.

Meminimalisir kemungkinan resiko yang ditimbulkan dari paparan radiasi sinar X maka berlaku Nilai Batas Dosis (NBD) untuk mengontrol dosis paparan radiasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Sesuai Peraturan Kepala BAPETEN No 8 tahun 2011 tentang keselamatan radiasi dalam penggunaan pesawat sinar X radiodiagnostik dan intervensional, NBD tahunan pekerja radiasi adalah 20 mSv/tahun dan untuk masyarakat sebesar 1 mSv/tahun [7]. Nilai pembatas dosis (*dose constraint*) untuk keperluan desain bangunan fasilitas diagnostik dan intervensional adalah setengah nilai NBD yaitu 10 mSv/tahun untuk pekerja dan 0,5 mSv/tahun untuk anggota masyarakat [8].

Untuk memastikan dosis yang diterima pekerja dan masyarakat tidak melebihi NBD yang telah ditentukan maka penggunaan pesawat sinar X radiografi umum harus memperhatikan proteksi dan keselamatan radiasi. Dalam pengoperasiannya pesawat sinar X radiografi umum ditempatkan dalam suatu ruangan yang didesain khusus dengan ukuran 4 m(p) x 3 m(l) x 2,8 m(t) dilengkapi dengan ruang ganti, toilet, alat peringatan bahaya radiasi dan sistem pengaturan udara sesuai dengan kebutuhan serta letaknya mudah diakses dari ruangan lainnya [7], [9]. Selain itu, dinding ruangan dilapisi material khusus sebagai lapisan penahan radiasi berupa timbal (Pb). Lapisan ini terdiri dari bata merah yang dilester hingga ketebalan 25 cm atau dari bahan beton dengan ketebalan 20 cm dengan rapat jenis ($\rho=2,2\text{g/cm}^3$) setara dengan 2 mm Pb [8].

Material penahan radiasi berfungsi untuk menyerap radiasi sehingga intensitas radiasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat tidak melebihi NBD. Kemampuan dalam menyerap radiasi ini dipengaruhi oleh ketebalan lapisan Pb yang digunakan sebagai penahan radiasi. Oleh karena itu diperlukan analisis desain dinding penahan radiasi untuk mengetahui kebocoran dinding yang sudah dilapisi Pb di ruang radiografi umum saat pembangunan dan kondisi saat ini seiring dengan meningkatnya jumlah pemeriksaan. Untuk mengetahui kebocoran dinding penahan radiasi maka diperlukan pengukuran laju paparan radiasi dan perhitungan ketebalan Pb. Perhitungan ketebalan Pb ruang radiografi umum dapat menggunakan metode perhitungan yang diterbitkan oleh NCRP (*National Council on Radiation Protection*).

Pada penelitian yang dilakukan [10] untuk menentukan nilai ketebalan penahan radiasi dilakukan dengan metode yang diterbitkan oleh NCRP, BIR (*British Institute of Radiology*), Kementerian Kesehatan Republik Indonesia No.1014/Menkes/ SK/ XI/ 2008 dan Peraturan Kepala BAPETEN No 8 tahun 2011. Dengan hasil perhitungan ketebalan perisai primer dengan bahan Pb pada NCRP 49 sebesar 1,00 mm, NCRP 147 sebesar 0,469 mm dan BIR sebesar 0,650 mm. Ketebalan perisai sekunder berbahan Pb pada NCRP 49 sebesar 0,500 mm, NCRP 147 sebesar 0,170 mm, dan BIR sebesar 0,00980 mm [10].

Dalam perhitungan ketebalan Pb sebagai penahan radiasi berdasarkan rekomendasi NCRP No.147 bergantung pada tujuan desain pelindung (P) yang dibagi menjadi dua yaitu daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol [9]. Daerah terkontrol merupakan daerah yang secara langsung terdapat peralatan pesawat sinar X dan ditempati oleh pekerja radiasi dengan nilai batas paparan radiasi yang diterima sebesar 0,2 mGy/minggu dan daerah tidak terkontrol adalah daerah di sekitar peralatan yang biasa ditempati oleh siapa saja dengan nilai batas paparan radiasi yang diterima sebesar 0,01 mGy/minggu (NCRP Report No.147, 2004). Pembatasan dosis pada daerah okupansi ini bertujuan untuk melindungi pekerja dan masyarakat dengan desain dinding dan Pb yang mampu menyerap radiasi dengan optimal agar dosis paparan radiasi yang diterima masih aman. Nilai pembatas dosis menjadi faktor penting dalam mengetahui kemungkinan terjadinya kebocoran radiasi yang dapat menimbulkan bahaya untuk pekerja dan masyarakat.

Dalam memastikan nilai laju paparan radiasi pada daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol masih dalam batas aman dari nilai pembatas dosis yang ditetapkan, maka diperlukan pengukuran secara rutin. Di rumah sakit, pengukuran ini belum dilakukan secara rutin untuk setiap titik pada daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol. Sehingga perlu dilakukan penelitian ini untuk memastikan dosis paparan radiasi yang diterima oleh pekerja dan masyarakat di daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol masih dalam batas aman dan tidak terjadi kebocoran radiasi. Melalui penelitian ini, analisis desain dinding penahan radiasi dilakukan di ruang radiografi umum pada salah satu rumah sakit di kota Palangka Raya.

2. Metode Penelitian

Adapun prosedur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1 Observasi

Pada tahap observasi dilakukan pengamatan secara langsung terhadap desain ruang pemeriksaan radiografi umum di instalasi radiologi rumah sakit di kota Palangka Raya yang meliputi ukuran dinding, ukuran ruangan, pintu, dan ruangan di

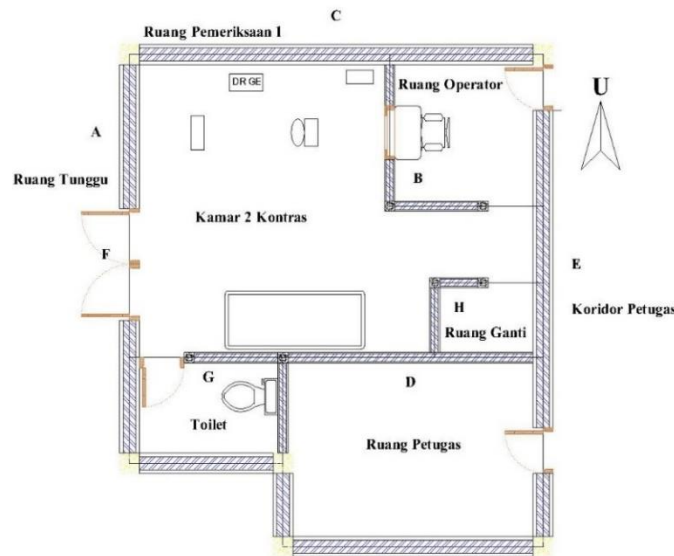
sekitar ruang pemeriksaan (ruang tunggu pasien, ruang operator, ruang petugas, ruang ganti, ruang pemeriksaan 1, toilet, dan koridor). Selain itu dilakukan pengambilan data jumlah pemeriksaan pasien, faktor hunian, dan faktor okupansi.

2.2 Pengambilan Data

Berdasarkan hasil pengamatan, tahap kedua dari penelitian ini yaitu pengambilan data dengan melakukan pengukuran laju paparan radiasi di ruang radiografi umum dan di sekitar ruang pemeriksaan radiografi umum. Kegiatan pengukuran dimulai dengan menentukan titik-titik yang akan menjadi lokasi pengukuran laju paparan radiasi. Pada penelitian ini terdapat delapan titik proteksi yang akan dilakukan pengukuran, di antaranya :

1. Titik A (ruang tunggu pasien)
2. Titik B (ruang operator)
3. Titik C (ruang pemeriksaan 1)
4. Titik D (ruang petugas)
5. Titik E (koridor petugas)
6. Titik F (pintu pasien)
7. Titik G (toilet)
8. Titik H (ruang ganti)

Dari setiap titik proteksi yang telah ditentukan dapat dilihat pada Gambar 1 denah ruang radiografi umum.



Gambar 1. Denah Ruang Radiografi Umum

Selanjutnya melakukan pengukuran jangkauan radiasi primer dan sekunder ke titik hunian sejauh 0,3 meter di luar perisai (dinding) dan mengukur jarak dari titik sumber sinar X ke daerah titik proteksi [12]. Langkah berikutnya yaitu melakukan pengukuran laju paparan radiasi latar (background) sebelum eksposi dan laju paparan radiasi saat eksposi dengan menggunakan surveymeter di beberapa titik proteksi yang telah ditentukan. Pada pengukuran ini dilakukan pengulangan sebanyak lima kali pada masing-masing titik proteksi dengan faktor jarak dan eksposi yang sama. Kemudian mencatat hasil pengukuran laju paparan radiasi.

2.3 Analisis Data

Setelah melakukan pengukuran laju paparan radiasi di radiografi umum instalasi radiologi menggunakan surveymeter, selanjutnya dilakukan perhitungan laju paparan. Untuk mendapatkan nilai hasil bacaan pada surveymeter dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_u = \text{Hasil bacaan tertinggi} - \text{radiasi latar} \quad (2.1)$$

Lalu melakukan perhitungan nilai laju paparan radiasi dengan dengan persamaan :

$$D_s = D_u \cdot F_k \quad (2.2)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan ketebalan Pb pada dinding penahan radiasi primer dan sekunder menggunakan metode fitting dan aljabar berdasarkan NCRP No.147. Melalui data tersebut dilakukan pengolahan dan analisis data hasil laju paparan radiasi dan ketebalan Pb terhitung berdasarkan nilai pembatas dosis yang ditetapkan oleh NCRP No.147 dan PERKA BAPETEN.

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kesesuaian ruang radiografi umum pada daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol terhadap ketentuan yang direkomendasikan oleh NCRP No. 147 dan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (PERKA BAPETEN) No 8 tahun 2011. Tahap observasi dilakukan secara langsung di ruang radiografi umum dan di sekitar ruang radiografi umum. Dari hasil observasi diketahui ruangan ini dibangun pada tahun 1980 dan diberi lapisan Pb pada tahun 2018. Ruang radiografi umum berada di dalam instalasi radiologi dan memiliki letak yang cukup strategis karena berdekatan dengan IGD (Instalasi Gawat Darurat) dan ICU (Intensive Care Unit) yang memudahkan akses pasien. Selain itu, diperoleh ukuran ruang radiografi umum sesuai dengan ketentuan [8] yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Observasi Ruang Radiografi Umum [8]

No	Spesifikasi Ruangan	Ukuran Hasil Observasi	Keterangan
1	Panjang Ruangan	590 cm	Sesuai
2	Lebar Ruangan	480 cm	Sesuai
3	Tinggi Ruangan	300 cm	Sesuai
6	Ketebalan Dinding	20 cm	Sesuai
7	Ketebalan Pb terpasang	0,2 cm	Sesuai

Selanjutnya, hasil observasi untuk ruang radiografi umum dan di sekitarnya dapat dilihat pada denah ruangan yang ditampilkan pada Gambar 1. Dari denah tersebut, di dalam ruang radiografi umum terdapat ruang operator (Titik B), ruang ganti (Titik H), toilet (Titik G) dan pintu pasien (Titik F). Sedangkan di sekitar ruang radiografi umum terdapat koridor petugas (Titik E) di sebelah timur, ruang pemeriksaan 1 (Titik C) di sebelah utara, ruang tunggu pasien (Titik A) di sebelah barat, dan ruang petugas (Titik D) di sebelah selatan. Pada ruang pemeriksaan radiografi umum digunakan pesawat sinar X radiografi umum stasioner merek GE BRIVO XR575 dengan kV max 150 kVp yang beroperasi sejak tahun 2018.

Melalui hasil observasi yang diperoleh, di ruang radiografi umum dan sekitarnya dibagi dalam 2 daerah okupansi yaitu daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol. Daerah terkontrol merupakan daerah yang menjadi tempat pesawat sinar X itu berada dan dihuni oleh pekerja, sedangkan daerah tidak terkontrol adalah daerah yang berada di sekitar daerah terkontrol dan dihuni oleh masyarakat. Dari hasil observasi ini diketahui daerah terkontrol terdapat pada Titik B, Titik C, dan Titik F, sedangkan daerah tidak terkontrol terdapat pada Titik A, Titik D, Titik E, Titik G, dan Titik H. Setiap titik pada daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol ini memiliki tebal dinding sebesar 20 cm dengan jenis material bata merah yang diplester dan dilapisi Pb dengan ketebalan 2 mm dan tinggi 2,4 m, kecuali pada Titik F untuk pintu pasien memiliki jenis material kayu dengan ketebalan 5 cm dan tinggi 2 m. Penambahan Pb pada desain dinding berfungsi sebagai penahan radiasi primer dan sekunder saat pesawat sinar X beroperasi.

Dari hasil observasi yang dilakukan ini dipatkan jumlah pasien yang melakukan pemeriksaan di ruang radiografi umum sebanyak 175 pasien/minggu dengan faktor beban kerja 105 pasien/minggu. Selain itu, pada tahap observasi diperoleh data nilai pembatas dosis (P), faktor penggunaan (U), dan faktor hunian (T) untuk setiap ruangan yang ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Observasi Ruang Radiografi Umum dan Sekitarnya

Titik Proteksi	Tebal dinding (cm)	Jenis material	+Pb (mm)	P	U	T	Keterangan
Titik A	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,01	1	1/5	Daerah Tidak Terkontrol
Titik B	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,16	-	1	Daerah Terkontrol
Titik C	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,16	-	1/2	Daerah Terkontrol
Titik D	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,01	-	1/5	Daerah Tidak Terkontrol
Titik E	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,01	-	1/5	Daerah Tidak Terkontrol
Titik F	5 cm	Kayu	2 mm	0,16	-	1	Daerah Terkontrol
Titik G	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,01	-	1/20	Daerah Tidak Terkontrol
Titik H	20 cm	Bata Merah	2 mm	0,01	-	1/20	Daerah Tidak Terkontrol

Dari data observasi yang ditampilkan dalam Tabel 2 terdapat nilai variabel P, U dan T yang diperoleh dari hasil observasi dan rekomendasi dari NCRP No. 147 (NCRP Report No.147, 2004). Variabel P merupakan nilai pembatas dosis yang telah ditetapkan yaitu 0,16 mSv/minggu untuk daerah terkontrol dan 0,01 mSv/minggu untuk daerah tidak terkontrol.

Selanjutnya, variabel U (*use factor*) merupakan nilai faktor penggunaan yang berhubungan dengan faktor beban kerja. Faktor penggunaan yang direkomendasikan oleh NCRP No. 147 digunakan dalam metode perhitungan penahan radiasi primer dan nilainya bergantung pada jenis instalasi dan penahan yang digunakan (NCRP Report No.147, 2004). Pada ruang radiografi umum hanya pada Titik A yang menggunakan nilai faktor penggunaan dalam perhitungan ketebalan Pb pada dinding penahan radiasi karena Titik A berperan sebagai daerah yang terpapar radiasi primer dengan nilai faktor penggunaan sebesar 1, hal ini dikarenakan arah berkas sinar X ke bucky stand dan dinding di belakang bucky stand.

Variabel T (*occupancy factor* atau faktor hunian) menyatakan sebagian besar dari waktu yang dihabiskan oleh individu dalam ruang tersebut dalam satu minggu jam kerja. Setiap titik proteksi memiliki nilai faktor hunian yang berbeda-beda tergantung dari seberapa banyak waktu yang dihabiskan oleh individu pada daerah tersebut dalam satu minggu jam kerja. Dalam hal ini, NCRP No. 147 telah menyarankan nilai faktor hunian dengan asumsi yang lebih realistis. Di mana pada daerah terkontrol Titik B dan Titik F memiliki nilai faktor hunian sebesar 1 yang berarti individu tersebut berada dalam ruangan selama jam kerja yang dimilikinya. Sedangkan Titik C memiliki nilai faktor hunian sebesar 1/2 atau 0,5, ini dikarenakan kemungkinan individu berada dalam ruang tersebut dalam 1/2 dari jam kerja yang dimiliki.

Sedangkan pada daerah tidak terkontrol Titik A, Titik D, dan Titik E memiliki nilai faktor hunian sebesar 1/5 ini dikarenakan kemungkinan individu berada dalam ruang tersebut dalam 1/5 jam kerja, sedangkan Titik G dan Titik H memiliki nilai faktor hunian 1/20 yang berarti kemungkinan individu berada dalam ruang tersebut dalam 1/20 jam kerja.

Selanjutnya dilakukan pengukuran laju paparan radiasi dan perhitungan ketebalan Pb pada dinding penahan radiasi primer dan sekunder di daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol. Nilai laju paparan radiasi diperoleh dengan melakukan pengukuran laju paparan radiasi di setiap titik proteksi yang telah dikelompokkan menjadi daerah terkontrol dan daerah tidak terkontrol. Pengukuran laju paparan dilakukan menggunakan *Surveimeter Gamma* tipe Inspector dengan No sertifikat kalibrasi 01/077/X-22/KAUR/E.0716 dan faktor kalibrasi alat 0,95.

Pengukuran laju paparan radiasi dilakukan dengan dua tahap pengukuran yaitu pengukuran sebelum eksposi dan saat eksposi. Pengukuran pertama dilakukan sebelum eksposi saat pesawat sinar X belum beroperasi. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui nilai radiasi latar dari setiap titik proteksi dan mengetahui jika terdapat kebocoran radiasi. Setiap pengukuran laju paparan radiasi dilakukan sejauh 0,3 m (30 cm) di balik dinding penahan radiasi terluar dengan lima kali pengulangan [12].

Tahap selanjutnya adalah perhitungan ketebalan Pb berdasarkan laju paparan radiasi dengan menggunakan metode fitting dan metode aljabar yang direkomendasikan oleh NCRP No. 147 dalam metode perhitungan ini dilakukan untuk penahan radiasi primer dan penahan radiasi sekunder. Beberapa variabel yang digunakan dalam perhitungan Pb

berdasarkan rekomendasi NCRP No. 147 adalah nilai pembatas dosis (P), faktor penggunaan (U), faktor hunian (T), beban kerja (*workload*), jarak dari sumber sinar X ke titik proteksi, nilai kerma udara, dan parameter α , β , dan γ .

3.1 Analisis Laju Paparan Radiasi dan Ketebalan Pb di Daerah Terkontrol

Analisis laju paparan radiasi dan ketebalan Pb di daerah terkontrol diperoleh dengan melakukan pengukuran laju paparan radiasi dan perhitungan ketebalan Pb pada daerah terkontrol yaitu pada di Titik B, Titik C, dan Titik F. Pada tahun 2022 di ruang radiografi umum untuk daerah terkontrol pernah dilakukan pengukuran laju paparan radiasi dengan hasil laju paparan radiasi terlihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Nilai Laju Paparan di Ruang Radiografi Umum Pada Tahun 2022

Titik Proteksi	Laju Paparan Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
Ruang Operator	0,12
Ruang Pemeriksaan 1	0,15
Pintu Pasien	0,14

Sedangkan berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini, nilai laju paparan radiasi yang terjadi diperoleh dari pengukuran laju paparan radiasi di setiap titik proteksi pada daerah terkontrol dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Laju Paparan Radiasi di Daerah Terkontrol

Titik Ukur	Laju Paparan Radiasi Latar ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Hasil Baca Alat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Rata-Rata Hasil Baca ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Faktor Kalibrasi	Laju Paparan Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Nilai Pembatas Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
Titik B	0,071	1. 0,167	0,126	0,95	0,052	0,095
		2. 0,101				
		3. 0,119				
		4. 0,101				
		5. 0,143				
Titik C	0,071	1. 0,137	0,115	0,95	0,042	0,095
		2. 0,119				
		3. 0,101				
		4. 0,101				
		5. 0,119				
Titik F	0,071	1. 0,131	0,130	0,95	0,055	0,095
		2. 0,131				
		3. 0,119				
		4. 0,137				
		5. 0,131				

Berdasarkan proses pengukuran dan perhitungan yang ditampilkan dalam Tabel 4 untuk nilai laju paparan radiasi latar di ruang radiografi umum pada daerah terkontrol adalah sebesar 0,071 ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) dan tidak terdapat adanya kebocoran radiasi karena nilai radiasi latar yang terjadi masih di bawah dari batas nilai kebocoran yang telah ditetapkan yaitu <1 (mSv/jam). Sedangkan nilai laju paparan yang didapatkan merupakan hasil pengurangan hasil baca surveymeter dengan nilai radiasi latar yang dikalikan dengan nilai faktor kalibrasi alat. Dari nilai laju paparan yang didapatkan, ketiga titik proteksi pada daerah terkontrol masih berada di bawah nilai ambang batas yang ditetapkan oleh NCRP No. 147 pada daerah terkontrol sebesar 0,2 mSv/minggu atau 0,095 ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) (NCRP Report No.147, 2004). Sedangkan berdasarkan PERKA BAPETEN No 8 Tahun 2011 nilai laju paparan di ruang radiografi umum ini masih dalam batas aman untuk pekerja [8].

Nilai laju paparan radiasi yang diperoleh ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jarak dan dinding penahan

radiasi. Dari pengukuran yang dilakukan, nilai laju paparan tertinggi terjadi di Titik F sebesar $0,055 (\mu Sv/jam)$ dan nilai laju paparan radiasi terendah terdapat di Titik C sebesar $0,042 (\mu Sv/jam)$. Hal ini dikarenakan jarak antara Titik F dengan sumber sinar X lebih dekat, sedangkan pada Titik C terdapat dua lapisan Pb yaitu dari dalam ruang radiografi umum dan dari dalam ruang pemeriksaan 1 sehingga nilai laju paparan radiasi yang diperoleh lebih rendah.

Seperti pada penelitian [13] yang melakukan analisis dosis paparan radiasi sinar X dengan menggunakan variasi arah dan jarak pengukuran. Dari penelitian tersebut diperoleh nilai dosis paparan pada arah samping kiri sebesar $3600 (\mu Sv/jam)$, di ruang operator $3400 (\mu Sv/jam)$ dan di luar ruangan tidak terdeteksi radiasi karena radiasi telah diserap oleh dinding. Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa jarak pengukuran dari titik sumber sinar X dan dinding penahan radiasi berpengaruh terhadap nilai dosis paparan radiasi yang dihasilkan [13].

Selanjutnya, perhitungan nilai ketebalan Pb di ruang radiografi umum untuk daerah terkontrol yang diperoleh dengan menggunakan metode perhitungan fitting dan metode aljabar berdasarkan rekomendasi dari NCRP No. 147. Dalam metode perhitungan NCRP No. 147 untuk daerah terkontrol dilakukan untuk perhitungan penahan radiasi sekunder, hal ini dikarenakan pada daerah terkontrol hanya terjadi paparan radiasi sekunder. Paparan radiasi sekunder merupakan paparan yang dihasilkan dari radiasi yang terhambur setelah berinteraksi dengan materi.

Perhitungan ketebalan Pb memerlukan beberapa nilai variabel P, U, dan T yang dapat dilihat pada Tabel 2. Selain variabel tersebut, metode perhitungan nilai ketebalan Pb juga dipengaruhi oleh beban kerja (*workload*), jarak dari sumber sinar X ke titik proteksi, nilai kerma udara, dan parameter α , β , dan γ . Variabel beban kerja diperoleh melalui data sekunder pemeriksaan pasien yang dilakukan di ruang radiografi umum setiap minggunya. Nilai beban kerja merupakan hasil perhitungan dari jumlah pemeriksaan yang dilakukan dalam satu minggu dengan nilai W_{norm} yang bergantung pada jenis instalasinya. Dari data yang diperoleh di ruang radiografi umum dalam satu minggu beban kerja yang dimiliki sebesar 105 pasien/minggu.

Pada perhitungan nilai ketebalan Pb untuk daerah terkontrol ini kerma udara sekunder yang digunakan adalah sebesar $4,9 \times 10^{-2}$ mGy/pasien. Dalam perhitungan ini, nilai parameter α , β , dan γ yang digunakan adalah α (2,298/mm), β ($1,738 \times 10^1/mm$), dan γ ($6,193 \times 10^{-1}$). Nilai hasil perhitungan ukuran ketebalan Pb untuk daerah terkontrol ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Ketebalan Pb di Daerah Terkontrol

Titik Proteksi	dp (m)	dsec (m)	B (Xbarrier)	Xbarrier (mm)	X (mm)	Bahan Dinding
Titik B	-	3,6	4×10^{-1}	0,059	0,059	Bata + Pb
Titik C	-	3	5×10^{-1}	0,034	0,034	Bata + Pb
Titik F	-	2,3	$1,6 \times 10^{-1}$	0,15	0,15	Kayu + Pb

Dari Tabel 5. diketahui hasil perhitungan ketebalan Pb untuk daerah terkontrol. Dalam perhitungan ketebalan Pb untuk penahan radiasi sekunder menggunakan dsec yaitu jarak radiasi hambur yang diukur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni. Setelah mendapatkan nilai tersebut, dilakukan perhitungan menggunakan metode fitting dengan persamaan (2) dari hasil perhitungan ini akan diperoleh nilai transmisi B(Xbarrier) yang kemudian akan dilakukan fitting pada kurva transmisi radiasi sekunder. Dari fitting tersebut akan diperoleh nilai ketebalan Pb (mm) sesuai dengan jenis instalasi yang digunakan. Selain menggunakan metode fitting, nilai ketebalan Pb juga diperoleh dengan menggunakan metode aljabar dengan hasil yang ditampilkan pada Tabel 5 untuk nilai X (mm) (NCRP Report No.147, 2004). Nilai ketebalan Pb hasil perhitungan ini merupakan nilai minimal ketebalan Pb yang harus dimiliki sebagai dinding penahan radiasi dalam menyerap dan mengatenuasi paparan radiasi berdasarkan jumlah beban kerja yang dimiliki.

Dari Tabel 5 nilai ketebalan Pb pada Titik B adalah sebesar 0,07 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 3,6 m. Ketebalan Pb di Titik C sebesar 0,034 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 6 m dan ketebalan Pb di Titik F adalah sebesar 0,18 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 2,3 m. Dari hasil tersebut diketahui bahwa nilai ketebalan Pb terbesar pada daerah terkontrol terdapat pada titik F (0,15 mm Pb) dan nilai ketebalan Pb terendah terdapat pada Titik B (0,059 mm Pb). Hal ini dapat terjadi karena Titik B memiliki jarak jangkauan dari sumber sinar X ke titik proteksi yang lebih besar dibandingkan Titik F.

3.2 Analisis Laju Paparan Radiasi dan Ketebalan Pb di Daerah Tidak Terkontrol

Analisis laju paparan radiasi dan ketebalan Pb di daerah tidak terkontrol dilakukan pada Titik A, Titik D, Titik E, Titik G dan Titik H. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, nilai laju paparan radiasi yang terjadi di setiap titik proteksi pada daerah tidak terkontrol dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengukuran Laju Paparan Radiasi di Daerah Tidak Terkontrol

Titik Ukur	Laju Paparan Radiasi Latar ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Hasil Baca Alat ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Rata-Rata Hasil Baca ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Faktor Kalibrasi	Laju Paparan Radiasi ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)	Nilai Pembatas Dosis ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$)
Titik A	0,071	1. 0,527	0,577	0,95	0,480	0,059
		2. 0,533				
		3. 0,479				
		4. 0,850				
		5. 0,497				
Titik D	0,071	1. 0,104	0,144	0,95	0,068	0,059
		2. 0,161				
		3. 0,143				
		4. 0,131				
		5. 0,131				
Titik E	0,071	1. 0,128	0,151	0,95	0,075	0,059
		2. 0,155				
		3. 0,161				
		4. 0,143				
		5. 0,167				
Titik G	0,071	1. 0,203	0,512	0,95	0,418	0,059
		2. 0,820				
		3. 0,363				
		4. 0,940				
		5. 0,233				
Titik H	0,071	1. 0,377	0,549	0,95	0,453	0,059
		2. 0,383				
		3. 0,676				
		4. 0,670				
		5. 0,637				

Berdasarkan proses pengukuran dan perhitungan yang ditampilkan dalam Tabel 6 untuk nilai laju paparan radiasi latar di ruang radiografi umum pada daerah tidak terkontrol adalah sebesar 0,071 ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$) dan tidak terdapat adanya kebocoran radiasi karena nilai radiasi latar yang terjadi masih di bawah dari batas nilai kebocoran yang telah ditetapkan yaitu <1 (mSv/jam). Sedangkan nilai laju paparan radiasi pada daerah tidak terkontrol pada Titik A, Titik D, Titik E, Titik G dan Titik H berada di atas nilai ambang batas yang ditetapkan yaitu 0,01 mSv/minggu atau 0,059 ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$). Sedangkan berdasarkan PERKA BAPETEN No 8 Tahun 2011 nilai laju paparan radiasi di ruang radiografi umum pada daerah tidak terkontrol masih dalam batas aman untuk masyarakat [8].

Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh [9] yang melakukan analisis desain dan tata letak pada instalasi radiologi rumah sakit islam klaten, dalam penelitiannya terdapat titik tidak aman yang memiliki nilai laju paparan di atas ambang batas yaitu di belakang pintu pemeriksaan radiografi sebesar 0,0273 mGy/h , di belakang pintu ruang operator sebesar 0,0637 mGy/h , di belakang pintu ruang pemeriksaan panoramik sebesar 0,028 mGy/h , dan di belakang pintu masuk pasien sebesar 0,0084 mGy/h [9].

Dari hasil laju paparan radiasi yang dihasilkan, dinding penahan radiasi pada daerah terkontrol belum maksimal karena nilai laju paparan radiasi yang terjadi berada di atas ambang batas yang ditetapkan oleh NCRP No.147. Hal ini dapat

terjadi karena beberapa hal seperti pada titik A untuk ruang tunggu pasien hanya memiliki satu sisi dinding penahan radiasi dari dalam ruang pemeriksaan dan jarak antara titik A ke *bucky stand* cukup dekat. Lalu pada titik D pada ruang petugas hanya memiliki satu sisi dinding penahan radiasi, Sedangkan pada titik G untuk pintu toilet tidak dapat tertutup rapat sehingga memungkinkan paparan radiasi melewati celah pintu sehingga nilai laju paparan radiasi yang terjadi lebih besar. Selanjutnya untuk ruang ganti pada pintu hanya ditutup dengan kain horden sehingga paparan radiasi yang terjadi di ruang tersebut lebih besar.

Selanjutnya, perhitungan nilai ketebalan Pb di ruang radiografi umum untuk daerah tidak terkontrol yang diperoleh dengan menggunakan metode perhitungan fitting dan metode aljabar berdasarkan rekomendasi dari NCRP No.147. Dalam metode perhitungan NCRP No.147 terdapat perhitungan untuk penahan radiasi primer dan penahan radiasi sekunder, hal ini dikarenakan pada daerah tidak terkontrol terjadi 2 paparan yaitu paparan radiasi primer dan paparan radiasi sekunder.

Paparan radiasi primer adalah paparan yang dihasilkan dari berkas sinar X yang keluar dari tabung dan akan langsung diserap oleh materi yang dilaluinya seperti tubuh pasien, kaset dan tembok. Sedangkan paparan radiasi sekunder merupakan paparan yang dihasilkan dari radiasi yang terhambur setelah berinteraksi dengan materi. Nilai ketebalan Pb di Titik A diperoleh menggunakan metode perhitungan penahan radiasi primer karena Titik A berada di belakang *bucky stand* sehingga terpapar radiasi primer yang berasal dari sumber melewati dinding penahan radiasi di Titik A. Sedangkan untuk Titik D, Titik E, Titik G dan Titik H diperoleh menggunakan metode perhitungan untuk penahan radiasi sekunder.

Perhitungan ketebalan Pb memerlukan beberapa nilai variabel P, U dan T yang dapat dilihat pada Tabel 2. Selain variabel tersebut, metode perhitungan nilai ketebalan Pb juga dipengaruhi oleh beban kerja (*workload*), jarak dari sumber sinar X ke titik proteksi, nilai kerma udara, dan parameter α , β , dan γ . Variabel beban kerja diperoleh melalui data sekunder pemeriksaan pasien yang dilakukan di ruang radiografi umum setiap minggunya yaitu sebesar 105 pasien/minggu.

Kerma udara merupakan kerma udara dari daerah hunian tiap pasien pada jarak 1 m, pada perhitungan nilai ketebalan Pb ini kerma udara primer yang digunakan adalah sebesar 2.3 mGy/pasien dan kerma udara sekunder yang digunakan adalah sebesar $4,9 \times 10^{-2}$ mGy/pasien. Sedangkan nilai parameter α , β , dan γ menunjukkan nilai distribusi beban kerja alat pada setiap jenis penahan radiasi yang digunakan.

Pada penelitian ini ruang radiografi umum dilapisi Pb (*lead*) sebagai jenis penahan radiasinya sehingga untuk nilai parameter α , β , dan γ yang digunakan pada perhitungan dinding penahan radiasi primer adalah α (2,264/mm), β ($1,308 \times 10^1$ /mm), dan γ ($5,600 \times 10^{-1}$). Sedangkan nilai parameter α , β , dan γ yang digunakan pada perhitungan dinding penahan radiasi sekunder adalah α (2,298/mm), β ($1,738 \times 10^1$ /mm), dan γ ($6,193 \times 10^{-1}$). Selain itu, untuk perhitungan penahan radiasi primer dilakukan pengurangan nilai Xpre yaitu ketebalan ekuivalen radiasi primer. Nilai hasil perhitungan ukuran ketebalan Pb untuk daerah tidak terkontrol ditampilkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Ketebalan Pb Di Daerah Tidak Terkontrol

Titik Protekasi	dp (m)	dsec (m)	B (Xbarrier)	Xbarrier (mm)	X (mm)	Bahan Dinding
Titik A	3,3	-	$2,5 \times 10^{-3}$	1,31 – 0,85	0,46	Bata + Pb
Titik C	-	3	5×10^{-1}	0,034	0,034	Bata + Pb
Titik E	-	6	3×10^{-1}	0,071	0,071	Bata + Pb
Titik G	-	3,7	$5,3 \times 10^{-1}$	0,038	0,038	Bata + Pb
Titik H	-	4,8	$8,9 \times 10^{-1}$	0,005	0,005	Bata + Pb

Tabel 7 diketahui hasil perhitungan ketebalan Pb untuk daerah tidak terkontrol. Dalam perhitungan ketebalan Pb penahan radiasi primer menggunakan dp yaitu jarak radiasi primer yang diukur dari tabung sinar X ke titik proteksi dan perhitungan ketebalan Pb penahan radiasi sekunder menggunakan dsec yaitu jarak radiasi hambur yang diukur dari titik pada pasien ke titik proteksi. Setelah mendapatkan nilai tersebut, untuk penahan radiasi primer dilakukan perhitungan menggunakan metode fitting. Dari hasil perhitungan ini akan diperoleh nilai transmisi B(Xbarrier) yang kemudian akan dilakukan fitting pada kurva transmisi radiasi primer. Dari fitting tersebut akan diperoleh nilai ketebalan Pb (mm) sesuai dengan jenis instalasi yang digunakan.

Selain menggunakan metode fitting, nilai ketebalan Pb juga diperoleh dengan menggunakan metode aljabar dengan hasil yang ditampilkan pada Tabel 7 untuk nilai X (mm). Dalam perhitungan ketebalan Pb penahan radiasi primer nilai hasil ketebalan dikurang dengan nilai Xpre yaitu nilai ketebalan ekuivalen yang telah ditetapkan untuk penahan radiasi primer. Sedangkan untuk ketebalan Pb pada perhitungan penahan radiasi sekunder dilakukan dengan menggunakan

metode fitting dan metode aljabar (NCRP Report No.147, 2004).

Pada Tabel 7 diketahui hasil perhitungan ketebalan Pb untuk daerah tidak terkontrol pada Titik A sebesar 0,46 mm dengan jarak radiasi primer dari tabung sinar X ke daerah ekspos maksimal 3,3 m. Ketebalan Pb di Titik D sebesar 0,071 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 3 m. Ketebalan Pb di Titik E sebesar 0,071 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 6 m. Ketebalan Pb di Titik G sebesar 0,038 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 3,7 m, dan Ketebalan Pb di Titik H sebesar 0,005 mm dengan jarak radiasi hambur dari titik pada pasien ke daerah berpenghuni 4,8 m.

Sedangkan nilai ketebalan Pb terbesar pada daerah tidak terkontrol terdapat di Titik A (0,46 mm Pb) dan nilai ketebalan Pb terendah terdapat pada Titik H (0,005 mm Pb). Hal ini terjadi karena pada Titik A memiliki faktor hunian yang lebih besar dibandingkan Titik H dan jarak jangkauan yang dimiliki oleh Titik H lebih besar dibandingkan Titik A.

3.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil observasi, pengukuran laju paparan radiasi dan perhitungan ketebalan Pb di ruang radiografi umum ditampilkan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Ketebalan Dinding Penahan Radiasi dan Laju Paparan Radiasi di Ruang Radiografi Umum

Titik Proteksi	Tebal Dinding Terbangun (mm)	Tebal Pb Hasil Perhitungan (mm)	Hasil Pengukuran Paparan Radiasi ($\mu\text{Sv/jam}$)
Titik A	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,46	0,480
Titik B	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,07	0,052
Titik C	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,04	0,042
Titik E	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,08	0,075
Titik F	Kayu + 2 mm Pb	0,18	0,055
Titik G	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,04	0,418
Titik H	200 mm Tembok + 2 mm Pb	0,007	0,453

Berdasarkan pada Tabel 8, hasil perhitungan ketebalan Pb menggunakan metode fitting dan metode aljabar yang direkomendasikan oleh NCRP No.147 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan nilai ketebalan Pb yang terpasang yaitu 2 mm. Nilai ketebalan Pb yang diperoleh merupakan nilai ketebalan Pb minimum yang harus dimiliki dinding penahan radiasi untuk jumlah beban kerja sebanyak 105 pasien/minggu. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh [14] untuk rancangan desain ruangan pemeriksaan radiografi darurat dalam kondisi pandemik covid-19. Dalam penelitiannya dilakukan perhitungan ketebalan Pb minimum untuk penahan radiasi di ruang pemeriksaan dengan hasil 1,89 mm Pb untuk beban kerja 700 pasien/minggu [15].

Secara umum, ruang radiografi umum memiliki ukuran yang sesuai dengan standar dari BAPETEN, dan desain ruang radiografi umum sudah optimal dengan mempertimbangkan tata letak ruangan yang ada di sekitarnya, dari desain ruang operator diberikan double shielding dengan mempertimbangkan keamanan pekerja seiring meningkatnya jumlah pasien setiap harinya. Selain itu jarak dari ruang operator ke sumber sinar X lebih dari 2 m dengan tujuan paparan radiasi yang terjadi mengalami pengurangan sehingga masih aman untuk pekerja.

Pada daerah terkontrol nilai laju paparan radiasi dan ketebalan Pb yang diperoleh masih dalam batas aman untuk pekerja. Sedangkan pada daerah tidak terkontrol memerlukan pengelolaan lebih lanjut agar laju paparan radiasi yang terjadi tidak melebihi nilai ambang batas yang telah ditetapkan, meskipun jika diperhatikan dari banyaknya waktu yang dihabiskan oleh individu pada daerah tidak terkontrol laju paparan radiasi yang terjadi masih dalam batas aman. Seperti untuk daerah tidak terkontrol pada Titik G dan Titik H pada saat pesawat sinar X beroperasi dipastikan tidak ada individu dalam ruang tersebut karena letaknya yang berada di dalam ruang radiografi umum dan di depan pintu ruang radiografi telah diberi lampu peringatan yang mengindikasikan ruang radiografi umum sedang beroperasi sehingga tidak ada individu yang masuk selain pasien dan pekerja [16].

Pengelolaan pihak rumah sakit juga baik dan peduli terhadap keselamatan pekerja dan masyarakat dengan menerapkan proteksi radiasi di setiap daerah yang menggunakan sumber sinar X. Walaupun ruang radiografi umum telah memenuhi standar dan dalam keadaan aman, proteksi radiasi harus tetap selalu diterapkan. Pekerja tetap harus selalu menggunakan peralatan proteksi radiasi, selalu berhati-hati, menggunakan alat pelindung diri saat berada di ruang pemeriksaan, dan menggunakan TLD (*Thermo Luminescence Dosimeter*) untuk mengontrol dosis paparan yang diterima.

Sebaiknya dilakukan pengukuran laju paparan radiasi dan kebocoran tabung pesawat sinar X secara rutin untuk memastikan tidak terjadi kebocoran radiasi dan ruang radiografi umum dapat beroperasi dengan baik. Pada daerah tidak terkontrol untuk mengurangi nilai laju paparan radiasi yang diterima masyarakat dapat dilakukan dengan menambah jarak antara letak pesawat sinar X dari dinding penahan radiasi di ruang tunggu pasien, dan membatasi waktu dan jumlah masyarakat yang berada di daerah tidak terkontrol agar nilai laju paparan yang diterima masih dalam batas aman.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu desain dinding penahan radiasi pada daerah terkontrol ruang radiografi umum sudah optimal dan dalam batas aman untuk pekerja di mana nilai laju paparan radiasi pada Titik B sebesar $0,052 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, Titik C sebesar $0,042 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, dan Titik F sebesar $0,055 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, masih berada dalam batas aman nilai pembatas dosis yang ditetapkan yaitu $0,16 \text{ mSv}/\text{minggu}$. Sedangkan hasil perhitungan ketebalan Pb masih di bawah dari ketebalan Pb yang terpasang yaitu pada Titik B sebesar $0,07 \text{ mm}$, di Titik C sebesar $0,034 \text{ mm}$, dan di Titik F sebesar $0,18 \text{ mm}$ sehingga tidak diperlukan material tambahan pada dinding ruangan.

Desain dinding penahan radiasi pada daerah terkontrol ruang radiografi umum memerlukan tindak lanjut karena nilai laju paparan radiasi pada Titik A sebesar $0,480 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, Titik D sebesar $0,0682 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, Titik E sebesar $0,075 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, Titik G sebesar $0,418 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$, dan Titik H sebesar $0,453 (\mu\text{Sv}/\text{jam})$ yang berada di atas nilai pembatas dosis yang ditetapkan yaitu $0,01 \text{ mSv}/\text{minggu}$. Akan tetapi, masih dalam batas aman karena individu dalam daerah tersebut tidak dalam waktu yang lama. Sedangkan hasil perhitungan ketebalan Pb untuk daerah tidak terkontrol masih di bawah dari ketebalan Pb yang terpasang yaitu pada Titik A sebesar $0,46 \text{ mm}$, di Titik D sebesar $0,071$, di Titik E sebesar $0,071 \text{ mm}$, di Titik G sebesar $0,038 \text{ mm}$, dan di Titik H sebesar $0,005 \text{ mm}$ sehingga tidak diperlukan material tambahan pada dinding ruangan.

Daftar Pustaka

- [1] A. Yani, "Pemanfaatan Teknologi Dalam Bidang Kesehatan Masyarakat," *Promot. J. Kesehat. Masy.*, vol. 8, no. 1, p. 97, 2018, doi: 10.31934/promotif.v8i1.235.
- [2] H. S. Wibowo, B. Santoso, and N. M. Sukma, "Perlindungan Hukum Pasien Rumah Sakit pada Penggunaan Sinar-x di Bidang Kesehatan," *J. Notarius*, vol. 13, no. 1, pp. 400–413, 2020.
- [3] T. Trikasjono, K. Hanifasari, and B. Suhendro, "Analisis Paparan Radiasi Lingkungan Ruang Radiologi Di Rumah Sakit Dengan Program Delphi," *J. Teknol. Elektro*, vol. 6, no. 3, p. 158, 2015, doi: 10.22441/jte.v6i3.803.
- [4] Ishak, *Pedoman layanan perizinan pesawat sinar-x radiologi diagnostik dan intervensional*, vol. 01, no. 2. 2019.
- [5] P. Supriyono, W. C. S, A. H. Rahim, and T. W. Murni, "Tentang Perizinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion dan Bahan Nuklir serta Permenkes No.," *J. Huk. Kesehat.*, vol. 3, no. 1, pp. 102–116, 2017.
- [6] E. Hiswara and D. Kartikasari, "Dosis Pasien Pada Pemeriksaan Rutin Sinar-X Radiologi Diagnostik," *J. Sains dan Teknol. Nukl. Indones.*, vol. 16, no. 2, p. 71, 2015, doi: 10.17146/jstni.2015.16.2.2359.
- [7] BAPETEN, "Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2020 tentang keselamatan radiasi pada pengguna pesawat sinar-X dalam radiologi diagnostik dan intervensioal," 2020, p. 52.
- [8] BAPETEN, "Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011," 2011, p. 55.
- [9] S. Mulyati, A. Nugroho, R. Indrati, and J. Ardiyanto, "Analisis desain dan tata letak pada instalasi radiologi rumah sakit islam klaten," *Semin. Nas. SDM Teknol. Nukl.*, pp. 353–355, 2018.
- [10] Wulandhari, W. S. Budi, and A. Dwiyanto, "Evaluasi Metode Perhitungan Ketebalan Perisai Pada Ruang Digital Radiografi," *Youngster Phys. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 31–40, 2015.
- [11] NCRPReportNo.147, *NCRP Report No.147 Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*. Bethesda: NCRP Publications, 2004. doi: 10.1118/1.1995714.
- [12] O. A. Daniel, A. M. Onoriode, A. S. Olaolu, A. A. Anthonio, and A. I. Olusola, "Shielding assessment in three diagnostic X-ray facilities in Asaba , South- South Nigeria : how compliant are we to radiation safety ? peer reviewed ORIGINAL ARTICLE Shielding assessment in three diagnostic X-ray facilities in Asaba , South- South Nigeria," *South African Radiogr.*, vol. 59, p. 8, 2021.
- [13] H. Hasmawati, S. Sahara, and H. Hernawati, "Analisis Dosis Paparan Radiasi Di Unit Radiologi Rs. Bhayangkara Makassar," *Jfi.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2016.
- [14] M. Mayarani, E. P. S. Hidayat, N. H. Apriantoro, R. Kristian, and M. Irsal, "Analysis Of Rooftop Skyshine Radiation Exposure With Angle Of Gantry Linear Accelerator 180° In Radiotherapy Unit Of Pertamina Central Hospital Jakarta," *SANITAS J. Teknol. dan Seni Kesehat.*, vol. 9, no. 1, pp. 24–34, 2018, doi: 10.36525/sanitas.2018.4.

- [15] M. Irsal, "Preparedness Radiological Services for the Covid-19 Emergency Hospital in Wisma Atlet Kemayoran," *SANITAS J. Teknol. dan Seni Kesehat.*, vol. 12, no. 1, pp. 21–35, 2021, doi: 10.36525/sanitas.2021.3.
- [16] Y. Cahyati, A. Wahyajatmiko, and A. B. Udin, "Pembuatan Saklar Otomatis Lampu Peringatan Pintu Ruang Foto Roentgen Dalam Peningkatan Quality Control Laboratorium Radiologi," *STIKes Widya Cipta Husada*, vol. 3, no. 4, pp. 35–40, 2018.