

# Pengukuran Sebaran Paparan Hambur dan Efektifitas Perisai Radiasi di Laboratorium TRO Jakarta II

Febria Anita<sup>1\*</sup> Rosita Indrianti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

\*Korespondensi penulis: febria.anita@civitas.unas.ac.id

(Received: 03-05-2021; Revised: 24-05-2021; Accepted: 28-06-2021)

**Abstract.** *Measurements of exposure to scattered radiation have been carried out around the general X-ray radiography room at the TRO Poltekes Jakarta II laboratory. Measurements were made in four rooms with different X-ray machine. It consists of 27 - 29 points with a distance of 0.6 - 5.2 meters depending on the position of the X-ray machine in each room using a survey meter detector. The measurement data is entered into the surfer software for mapping to form the contours of the scattered radiation region at the measurement location. The mapping results show that the largest scattering area is in front of the X-ray tube at a distance of 1 meter with a value range of 2,976mR/hour - 2,467mR/hour and the smallest scattering at a distance of 6 meters with a value range of 0.083mR/hour - 0.037mR/hour. The scattering radiation exposure decreases with increasing distance from the radiation source. From measurements inside and outside the X-ray, aircraft can be calculated the percentage of the effectiveness of the radiation shield. The first room with a Shimadzu X-ray machine is in the range of (80.50 - 100)%, the second room is with an X-ray machine of the Radiologia brand (95.13 - 100)%, third room with an Allengers X-ray machine is 100%. , the fourth room with the Indoray brand X-ray plane is 100%. Based on BAPETEN Regulation No. 4 of 2013 the data shows that the radiation scattering value in the X-ray room in the laboratory is still within safe limits so it is still safe to use.*

**Keywords:** *X-ray machine, scatter radiation, survey meter, surfer software.*

**Abstrak.** Telah dilakukan pengukuran paparan radiasi hambur di sekitar ruangan radiografi umum sinar-X di laboratorium TRO Poltekes Jakarta II. Pengukuran dilakukan pada empat ruangan dengan pesawat sinar-X yang berbeda-beda. Data pengukuran dimasukan ke *software surfer* untuk pemetaan sehingga membentuk kontur wilayah radiasi hambur di lokasi tempat pengukuran. Hasil pemetaan memperlihatkan wilayah hamburan yang paling besar berada di depan tabung pesawat sinar-X pada jarak 1meter dengan kisaran nilai 2.976mR/jam – 2.467mR/jam dan hamburan paling kecil pada jarak 6-meter dengan kisaran nilai 0.083mR/jam – 0.037mR/jam. Paparan radiasi hambur berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Dari pengukuran di dalam dan di luar ruangan pesawat sinar-X dapat dihitung persentase efektifitas perisai radiasinya. Ruang 1 dengan pesawat sinar-X Shimadzu berkisar (80.50 - 100)%, ruang 2 dengan pesawat sinar-X merk Radiologia berkisar (95.13 - 100)%, ruang 3 dengan pesawat sinar-X Allengers adalah 100%, ruang 4 dengan pesawat sinar-X merk Indoray adalah 100%. Berdasarkan Perka BAPETEN No.4 Tahun 2013 data tersebut menunjukkan bahwa untuk nilai hamburan radiasi di ruangan pesawat sinar-X di laboratorium masih dalam batas aman sehingga masih aman untuk digunakan.

**Kata kunci:** pesawat sinar-X, radiasi hambur, surveymeter, *surfer software*.

## PENDAHULUAN

Sinar-X merupakan sumber radiasi pada pemeriksaan radiologi diagnostik. Pemeriksaan radiologi diagnostik ini berguna bagi dokter sebagai penunjang diagnosa suatu penyakit untuk memberikan informasi yang cukup akurat dari citra radiografi. Selain manfaatnya

yang sangat besar juga terdapat efek yang merugikan bagi pekerja radiasi, pasien dan masyarakat.

Pemerintah telah mengatur dosis paparan radiasi yaitu dosis efektif rata-rata sebesar 20 mSv (dua puluh milisievert) per tahun dalam periode lima tahun atau tidak melebihi 100 mSv (seratus milisievert). Hal ini tertuang dalam peraturan pemerintah No. 33 tahun 2007 dan Peraturan Kepala Bapeten No. 04 tahun 2013. Sesuai dengan aturan tersebut perlu adanya pengukuran paparan radiasi pesawat sinar x untuk proteksi radiasi. Hal ini merupakan salah satu bentuk program kendali mutu bidang radiodiagnostik [1]. Dosis radiasi merupakan banyaknya energi radiasi yang terserap atau yang diterima oleh materi yang dilaluinya. Sedangkan radiasi hambur (*scatter radiation*) merupakan sebagian radiasi yang menyimpang dari radiasi sumber dan sebagian radiasi yang berubah karena energi radiasi yang ditransfer yang pada akhirnya radiasi tersebut akan kehilangan energi dan panjang gelombangnya menjadi lebih panjang dari radiasi primer [2].

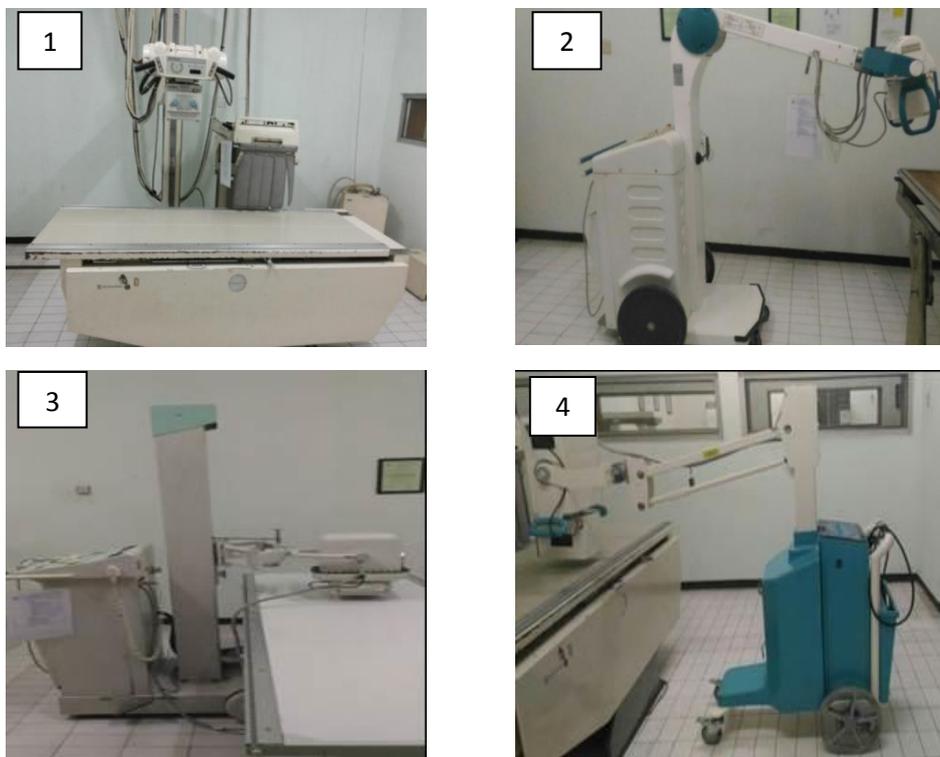
Sinar-X merupakan radiasi pengion sehingga mampu menghasilkan elektron elektron bebas di dalam materi [3]. Bila mengenai makhluk hidup maka sinar x mampu merusak sel-sel hidup [4]. Untuk itu diperlukan tindakan proteksi radiasi dimana merupakan suatu tindakan yang dilakukan untuk melindungi seseorang atau sekelompok orang dari pengaruh radiasi akibat paparan radiasi. Dalam masalah proteksi radiasi, efek radiasi juga dibedakan atas efek stokastik dan efek non stokastik. Efek stokastik adalah efek yang belum tentu terjadi (probabilistik) sedangkan efek non stokastik (deterministik) pasti akan terjadi bila terkena radiasi dengan dosis yang melebihi batas ambang [5]. Cara pengendalian dari efek radiasi dapat dilakukan dengan mengatur waktu penyinaran, mengatur jarak antara sumber radiasi dengan objek dan memasang perisai radiasi pengion untuk mengurangi dosis radiasi yang mengenai organ dalam tubuh [6]. Perisai radiasi untuk instalasi sinar-X terdiri dari dua macam yaitu perisai radiasi primer yang terdapat pada wadah tabung sinar-X dan perisai radiasi sekunder yang merupakan desain ruangan penyinaran pada rumah sakit atau laboratorium. Alat untuk mengukur intensitas radiasi dalam bentuk paparan atau dosis radiasi adalah surveymeter gamma. Untuk mengukur radiasi eksternal seperti sinar gamma, sinar x dan neutron, radiasi alfa dan radiasi beta [7].

Selain di rumah sakit pemanfaatan sinar-X juga digunakan sebagai sarana belajar praktek bagi mahasiswa di perguruan tinggi, salah satunya adalah pada Jurusan TRO Jakarta II. Ini merupakan upaya dari proses pembelajaran dan latihan dalam melakukan prosedur pemeriksaan radiologi di laboratorium. Sinar-X selain bermanfaat juga merugikan bagi mahasiswa dan instruktur praktek apabila prasarana yang digunakan di laboratorium tidak sesuai dengan standar peraturan yang ditetapkan. Untuk itu diperlukan suatu pengukuran paparan radiasi hambur di dalam ruangan dan di sekitar ruangan pesawat sinar-X dan perhitungan nilai efektifitas penahan atau perisai radiasi yang ada di sekitar ruangan tersebut.

Penelitian yang berhubungan dengan efektifitas penahan radiasi juga pernah dilakukan dengan mengukur paparan radiasi menggunakan TLD 100 untuk radiasi sebelum dan setelah menembus dinding ruang panoramik kurang dari 90% dan kurang efektif dalam menahan radiasi [8]. Penelitian lain memperlihatkan bahwa faktor eksposi juga mempengaruhi paparan radiasi dimana semakin tinggi faktor eksposinya maka semakin besar jumlah paparan radiasinya, jarak titik aman yang direkomendasikan untuk pasien diruang ICU > 3 meter dengan menggunakan kV rendah [9]. Analisis sebaran radiasi hambur juga pernah dilakukan pada ruang pemeriksaan tomografi ginjal dan di dapatkan bahwa paparan radiasi akan menurun dengan bertambahnya jarak sehingga bisa di tentukan jarak yang aman terhadap paparan radiasi [10]. Penelitian paparan radiasi dengan menganalisis kontur isodosis bisa memperlihatkan jarak aman untuk melakukan kegiatan radiodiagnostik pada jarak > 3 m [11]. Untuk menekan efek negatif pada saat penggunaan pesawat sinar-X maka perlu juga di perhatikan desain perisai dan material bangunan yang akan digunakan pada ruang pesawat sinar-X sehingga pekerja, pasien dan masyarakat terhindar dari paparan radiasinya [12].

## METODE PENELITIAN

Pengukuran paparan radiasi hambur dilakukan dilaboratorium Jurusan TRO Jakarta II pada empat ruangan pemeriksaan dengan empat jenis pesawat sinar-X yang berbeda merk seperti pada gambar 1. Shimadzu dengan model pesawat: YS 1 B, nomor seri pesawat: 0162502004. Radiologia dengan model pesawat: TX 16 MLP, nomor seri pesawat: G 33261/10209. Allanger dengan model pesawat: 60 CBM, nomor seri pesawat: 061206131. Indoray dengan model pesawat: IR 100D, nomor seri pesawat: CE 0197. Pesawat sinar-X jenis ini dapat digunakan untuk pemeriksaan *general radiography*. Selain pesawat sinar-X, instrumen penelitian lain yang digunakan adalah surveymeter gamma pada gambar 2 yang berfungsi untuk mengumpulkan data nilai pengukuran laju paparan radiasi hambur, *phantom abdomen* sebagai objek penghambur radiasi primer, meteran alat yang digunakan untuk mengukur jarak antara tabung pesawat sinar-X dengan titik-titik pengukuran, alat proteksi radiasi berupa *shielding* dan *apron*, lembaran kerja, alat tulis, alat hitung dan *software surfer* untuk sebaran dosis radiasi.



**GAMBAR 1.** Pesawat sinar-X Shimadzu nomor seri 0162502004 (1), pesawat sinar-X Radiologia nomor seri G 33261/10209 (2), pesawat sinar-X Allanger nomor seri 061206131 (3), dan pesawat sinar-X Indoray nomor seri CE 0197 (4).

Sebelum pengambilan data, melakukan observasi ke lokasi penelitian dan menentukan titik - titik lokasi mana saja yang akan dilakukan pengukuran. Pengambilan data dilakukan pada jarak 0.6 meter sampai dengan 7.35 meter dan titik pengukuran yang membentuk jaring laba-laba. Pengukuran dilakukan pada 27 sampai dengan 29 titik tergantung pada posisi pesawat sinar-X dalam setiap ruang pemeriksaan. Pengukuran dilakukan dengan cara menempatkan surveymeter berpindah-pindah sesuai dengan jarak atau titik yang akan diukur. Pengukuran pada tiap titik dilakukan dengan 3 (tiga) kali eksposi untuk mendapatkan hasil yang akurat.

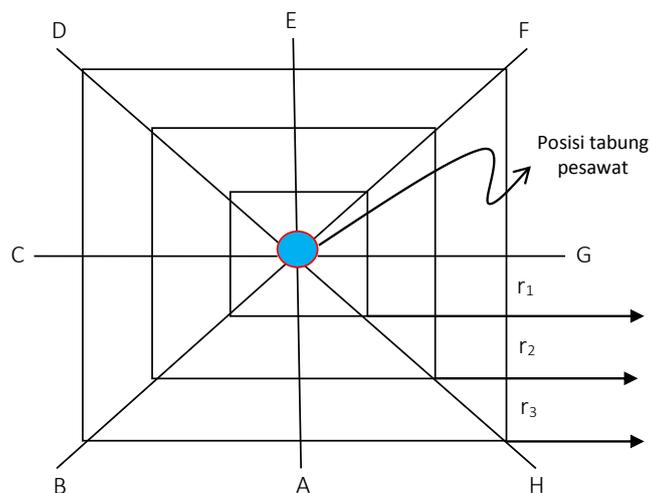


**GAMBAR 2.** Surveymeter gamma digital Ram Ion No. Seri detector: F 083101.

Langkah-langkah melakukan pengukuran radiasi hambur pada pesawat sinar-X dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Meletakkan surveymeter secara berpindah - pindah pada kisaran jarak 0.6-meter sampai dengan 7.35 meter di setiap sisi pesawat dimana disetiap ruangan titik pengukuran berbeda-beda tergantung posisi atau letak pesawat dalam ruangan tersebut, seperti pada gambar 4.6.
2. Melakukan pengukuran di 8 (delapan) lintasan sisi pesawat dengan menggunakan faktor eksposi pemeriksaan abdomen AP (70 kV, 15 mAs).
3. Kolimasi dibuka sesuai pemeriksaan yang digunakan menggunakan phantom abdomen sebagai objek penghambur radiasi primer.
4. Pengukur berdiri pada titik pengukuran dan mengarahkan bagian ion chamber ke arah tabung pesawat sinar-X.
5. Pengukur memberikan aba-aba pada petugas eksposi untuk melakukan eksposi.
6. Melakukan eksposi dengan faktor eksposi yang sudah ditentukan.
7. Pengukur mencatat hasil rekaman pengukuran ke lembar kerja.
8. Pengukur menekan tombol reset pada surveymeter agar kembali ke 0,0 mR/jam.
9. Melakukan pengukuran dengan 3 (tiga) kali eksposi dengan faktor eksposi yang sama pada semua titik pengukuran.
10. Di samping titik- titik pengukuran yang berada di dalam ruangan pesawat sinar x dilakukan pula pengukuran di titik - titik di sekitar atau di luar ruangan yaitu ruang diskusi, ruang operator, ruang prosesi film, gudang, ruang peralatan dan ruang instruktur yang berdekatan dengan ruang pemeriksaan.

Pada gambar 3 merupakan skema pengukuran hamburan radiasi pesawat sinar-X.



**GAMBAR 3.** Skema pengukuran hamburan radiasi pesawat sinar-X

Pengukuran pada tiap titik dilakukan dengan 3 (tiga) kali eksposi dikalikan dengan faktor kalibrasi alat ukur yang digunakan. Hasil pengukuran dijumlahkan dan direratakan dengan jumlah data. Dari hasil perkalian itu didapatkan data akhir, kemudian data tersebut dimasukkan ke dalam *software surfer* dengan menggunakan koordinat titik x, y, z.

Hasil pengukuran paparan radiasi hambur pada ruangan pesawat sinar-X digunakan untuk menentukan prosentase efektivitas bahan perisai radiasi dengan menggunakan persamaan 1 [13].

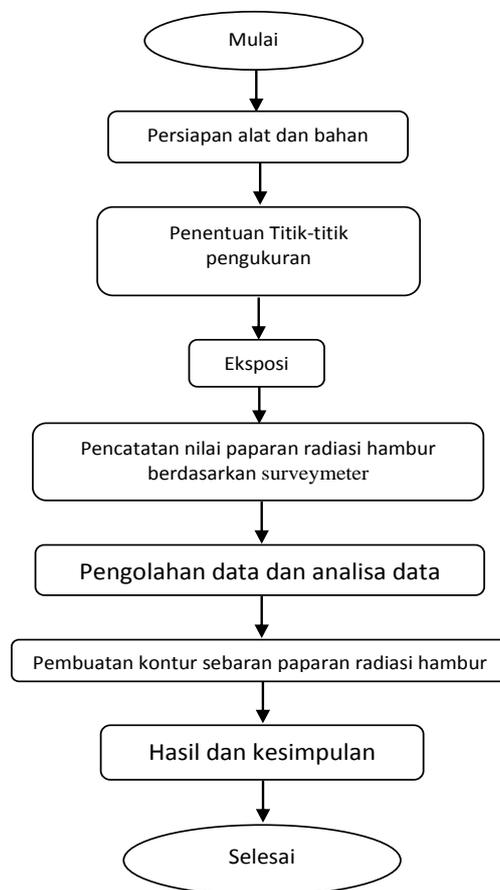
$$Efektifitas = \frac{D_o - D_t}{D_o} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

$D_o$  : Paparan hambur sebelum melewati perisai radiasi

$D_t$  : Paparan hambur setelah melewati perisai radiasi

Gambar 4 merupakan bagan alir tahap penelitian mulai dari persiapan alat hingga memperoleh hasil dan kesimpulan.



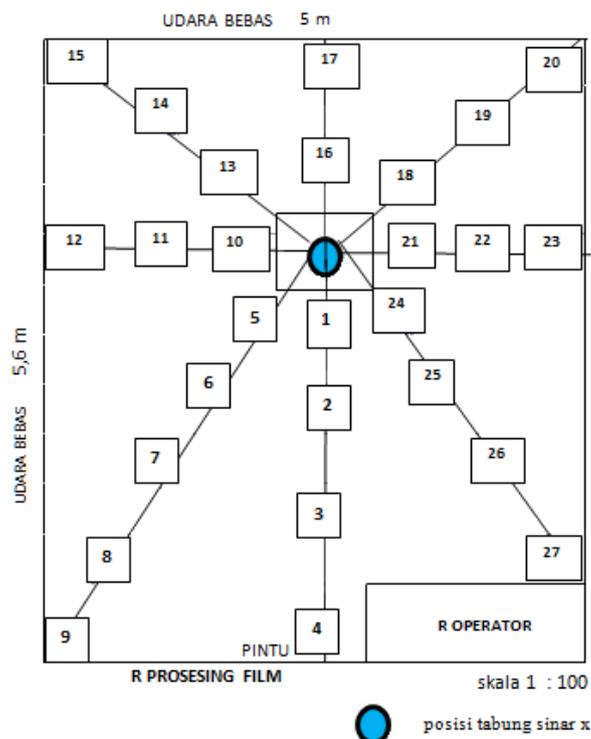
**GAMBAR 4.** Bagan alur tahapan penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

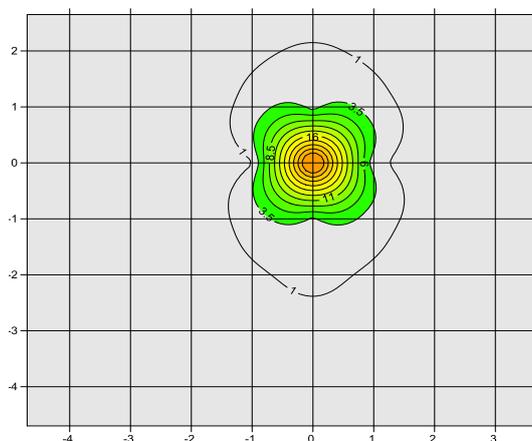
Pada ruang 1 dengan luas (5meter × 5.6meter) dilakukan pengukuran pada 27 titik dengan 8 lintasan seperti gambar 5. Variasi jarak 1 meter sampai dengan 6.6 meter dengan pesawat sinar-X Shimadzu nomor seri (0162502004). Faktor eksposi yang digunakan pada pengukuran ini adalah 70kV, 15mAs dilakukan dengan membuka kolimator sebagaimana pemeriksaan abdomen AP *phantom abdomen* sebagai objek penghambur. Hasil pengukuran laju paparan radiasi hambur menunjukkan nilai terbesar 2.967mR/jam

pada titik koordinat (0, -1) dan terkecil 0.080 mR/jam pada titik (-4.7, -4.7). Efektifitas perisai radiasi di sekitar ruang 1, persentase efektifitas tertinggi terdapat pada pengukuran di ruang pemrosesan film yaitu sebesar 100%, sedangkan terendah terdapat di ruang operator yaitu sebesar 80.50% dikarenakan berada pada jarak yang lebih dekat dengan tabung sinar-X.

Data yang sudah dimasukkan ke software surfer dalam bentuk titik koordinat x, y dan z, dimana x dan y menunjukkan posisi titik pengukuran dan z merupakan nilai paparan radiasi hambur. Gambar 6 merupakan pemetaan wilayah radiasi hambur yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X Shimadzu nomor seri (0162502004) pada jarak 1 meter- 6.6 meter. Bagian yang mendapat hamburan paling kecil ditandai dengan warna hijau yaitu pada bagian kanan depan tabung sinar-X pada jarak 4.7-meter bernilai 0.080mR/jam. Sedangkan bagian yang terdapat hamburan paling besar di tandai dengan warna kuning yaitu pada bagian depan tabung sinar-X pada jarak 1-meter bernilai 2.967mR/jam.



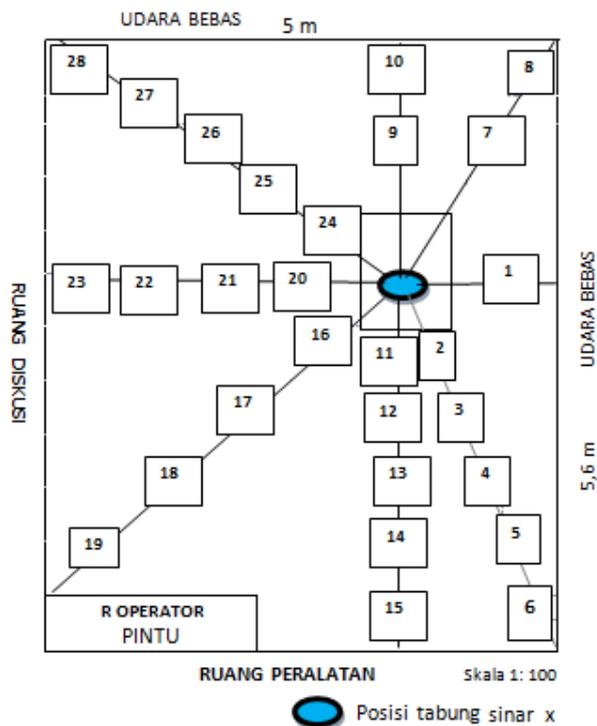
GAMBAR 5. Denah ruang 1.



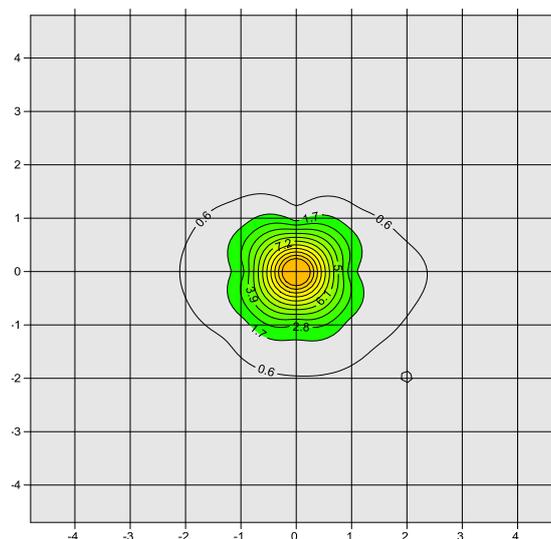
GAMBAR 6. Pemetaan wilayah radiasi hambur ruang 1.

Pada ruang 2 dengan luas ruangan (5 meter × 5.6 meter) dilakukan pengukuran pada 28 titik dengan 8 lintasan seperti gambar 7. Variasi jarak 1 meter sampai dengan 6.7 meter

dengan pesawat sinar-X Radiologia nomor seri (G 33261/10209) pada jarak sesuai dengan titik koordinat sumbu x dan y. Faktor eksposi yang digunakan yaitu 70kV, 15mAs dengan membuka kolimator seluas pemeriksaan abdomen AP dengan *phantom* sebagai objek penghambur. Hasil pengukuran laju paparan radiasi hambur terbesar 2,633 mR/jam dan terkecil 0.037mR/jam. Efektifitas perisai radiasi di sekitar ruang 2 persentase efektifitas tertinggi terdapat pada pengukuran di ruang peralatan dan ruang operator yaitu sebesar 100%, sedangkan terendah terdapat diruang diskusi yaitu sebesar 95.13% dikarenakan berada pada jarak yang lebih dekat dengan tabung sinar-X.



GAMBAR 7. Denah ruang 2.

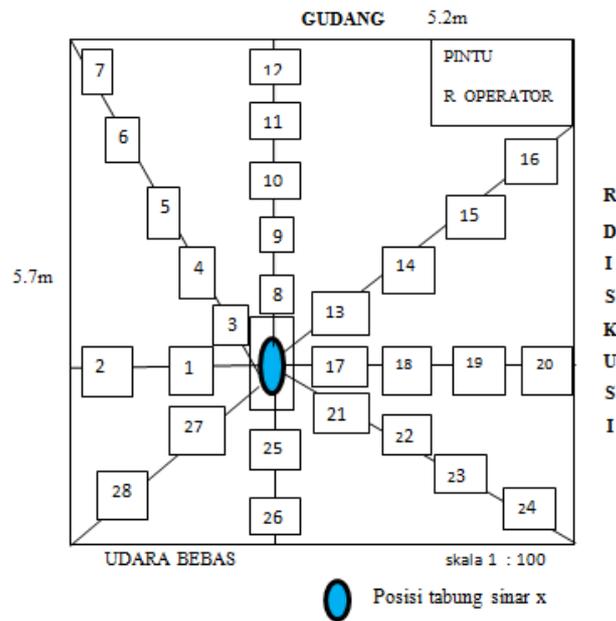


GAMBAR 8. Pemetaan wilayah radiasi hambur ruang 2.

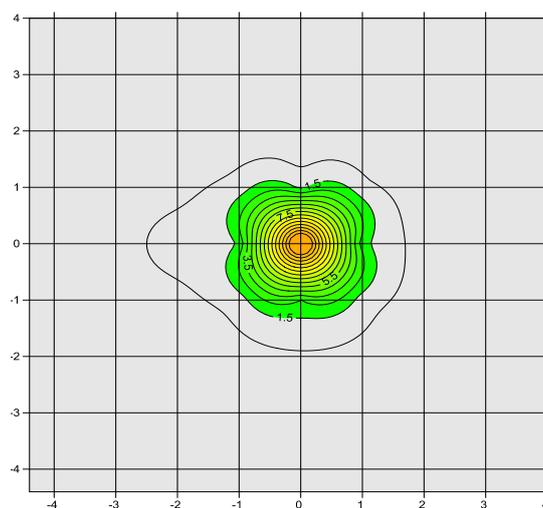
Gambar 8 merupakan pemetaan wilayah radiasi hambur yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X Radiologia nomor seri (G 33261/10209) pada jarak 1 meter – 6.7 meter. Bagian yang mendapat hamburan paling kecil ditandai dengan warna hijau yaitu pada bagian kanan depan tabung sinar x pada jarak 4.8 meter bernilai 0.037mR/jam dikarenakan jarak yang jauh dari sumber radiasi.Sedangkan bagian yang terdapat hamburan paling besar di

tandai dengan warna kuning yaitu pada bagian depan tabung sinar x pada jarak 1 meter bernilai 2.633mR/jam.

Pada ruang 3 dengan luas ruangan (5.2 meter × 5.7 meter) dilakukan pengukuran pada 28 titik dengan 8 lintasan seperti gambar 9. Variasi jarak 1 meter sampai dengan 6,4 meter sesuai dengan titik koordinat sumbu x dan y dengan alat sinar-X merk Allanger nomor seri (061206131). Faktor eksposi yang digunakan pada pengukuran ini yaitu 70 kV, 15mAs dengan membuka kolimator sebagaimana pemeriksaan abdomen AP dengan *phantom* sebagai objek penghambur. Didapat Laju paparan radiasi hambur terbesar 2.467 mR/jam dan terkecil sebesar 0.047mR/jam. Efektifitas perisai radiasi di sekitar ruang 3 persentase efektifitas penahan radiasi di ruang 3 adalah 100%, nilai ini menunjukkan kemampuan penahan radiasi untuk mengurangi laju paparan hambur sangat baik.



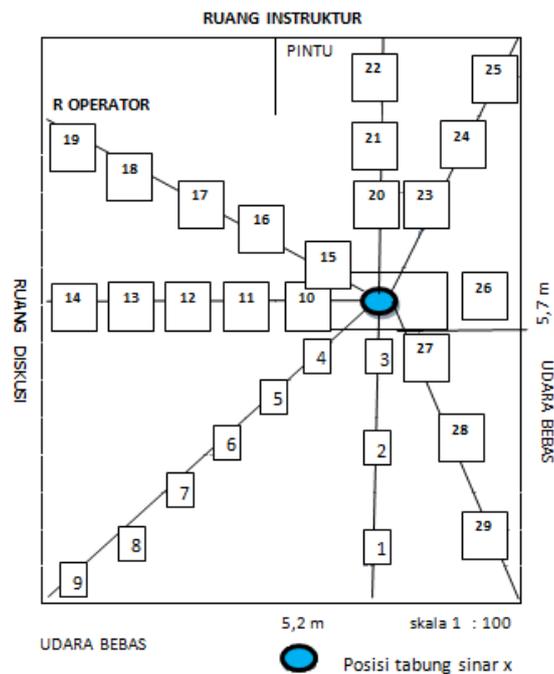
**GAMBAR 9.** Denah Ruang Pemeriksaan 3.



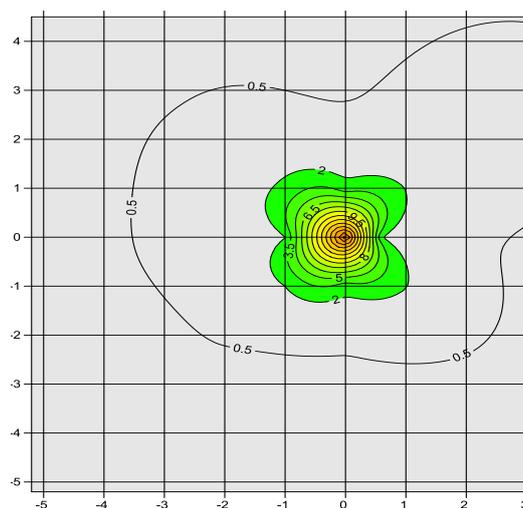
**GAMBAR 10.** Pemetaan wilayah radiasi hambur ruang 3.

Gambar 10 merupakan pemetaan wilayah radiasi hambur yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X Allanger pada jarak 1 meter – 6.4 meter. Bagian yang mendapat hamburan paling kecil ditandai dengan warna hijau yaitu pada bagian kanan depan tabung sinar-X pada jarak 5.6-meter bernilai 0.047mR/jam. Sedangkan bagian yang terdapat hamburan paling besar di tandai dengan warna kuning yaitu pada bagian depan tabung sinar-X pada jarak 1-meter bernilai 2.467mR/jam.

Pada ruang 4 dengan luas ruangan (5.2 meter  $\times$  5.7 meter) dilakukan pengukuran pada 29 titik dengan 8 lintasan seperti gambar 11. Variasi jarak 0.6 meter sampai dengan 7.35 meter sesuai dengan titik koordinat sumbu x dan y dengan pesawat sinar-X merk Indoray nomor seri (CE 0197). Faktor eksposi yang digunakan pada pengukuran ini yaitu 70kV, 15mAs dengan membuka kolimator sebagaimana pemeriksaan abdomen AP dengan *phantom abdomen* sebagai objek penghambur. Laju paparan radiasi hambur terbesar sebesar 2.633mR/jam dan terkecil sebesar 0.083mR/jam. Efektifitas perisai radiasi di sekitar ruang 4 persentase efektifitas penahan radiasi di ruang 4 adalah 100%, nilai tersebut menunjukkan kemampuan penahan radiasi untuk mengurangi laju paparan hambur sangat baik.



GAMBAR 11. Denah Ruang Pemeriksaan 4.



GAMBAR 12. Pemetaan wilayah radiasi hambur ruang 4.

Gambar 12 merupakan pemetaan wilayah radiasi hambur yang dihasilkan oleh pesawat sinar-X Indoray nomor seri (CE 0197) pada jarak 0.6 meter - 7.35 meter. Bagian yang mendapat hamburan paling kecil ditandai dengan warna hijau yaitu pada bagian kanan depan tabung sinar x pada jarak 7.35-meter bernilai 0.083mR/jam. Sedangkan bagian yang terdapat hamburan paling besar di tandai dengan warna kuning yaitu pada bagian depan tabung sinar x pada jarak 1-meter bernilai 2.633mR/jam.

**TABEL 1.** Efektifitas perisai radiasi di sekitar ruangan pesawat sinar-X

No	Ruangan	Titik Pengukuran	D0 (mR/jam)	Dt (mR/jam)	Efektifitas (%)
1	Sekitar ruangan 1 (pesawat sinar x Shimadzu) No. seri pesawat (0162502004)	Ruang diskusi	0.333	0.020	94.14
		Ruang pemrosesan film	0.267	0.000	100.00
		Ruang operator	0.100	0.020	80.50
2	Sekitar ruangan 2 (pesawat sinar x Radiologia) No. seri pesawat (G 33261 / 10209)	Ruang Diskusi	0.200	0.010	95.13
		Ruang Peralatan	0.077	0.000	100.00
		Ruang Operator	0.067	0.000	100.00
3	Sekitar ruangan 3 (pesawat sinar x Allanger) No. seri pesawat (061206131)	Ruang Diskusi	0.087	0.000	100.00
		ruang pemrosesan film	0.077	0.000	100.00
		Ruang Operator	0.080	0.000	100.00
4	Sekitaran ruangan 4 (pesawat sinar x Indoray) No. seri pesawat (CE 0197)	Ruang Diskusi	0.100	0.000	100.00
		Ruang Instruktur	0.400	0.000	100.00
		Ruang Operator	0.133	0.000	100.00

Tabel 1 merupakan persentase efektifitas perisai radiasi di sekitar ruangan pesawat sinar-X. Pada ruangan 1 memiliki efektifitas perisai radiasi yang berkisar dari 80.50% yang berada pada ruang operator dengan jarak terdekat dengan pesawat sinar-X hingga 100% yang berada pada ruangan pemrosesan film. Pada ruang 2 memiliki efektifitas perisai radiasi yang berkisar dari 95.13% yang berada pada ruang diskusi hingga 100% pada ruang peralatan dan operator. Untuk ruang 2 dan ruang 3 memiliki efektifitas perisai radiasi 100% untuk semua titik pengukuran.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat hamburan yang paling besar di bagian depan tabung pesawat dengan kisaran nilai 2.976mR/jam sampai dengan 2.467mR/jam dan hamburan paling kecil dengan kisaran nilai 0.083 mR/jam sampai dengan 0.037mR/jam. Nilai hamburan terbesar diperoleh pada jarak terdekat dengan tabung sinar-X sedangkan nilai hamburan terkecil dihasilkan karena jaraknya paling jauh dari tabung sinar-X. Paparan radiasi hambur berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Perisai radiasi yang ada pada seluruh ruang pemeriksaan termasuk perisai radiasi yang baik, mampu mengurangi laju paparan radiasi hambur dengan nilai efektifitas sebesar 80.50% – 100%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PERKA BAPETEN, “Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta,” Prot. dan Keselam. Radiasi dalam Pemanfaat. Tenaga Nukl., vol. 4, 2013, Accessed: Jun. 13, 2021. [Online]. Available: <https://jdih.bapeten.go.id/id/dokumen/peraturan/peraturan-kepala-badan-pengawas-tenaga-nuklir-nomor-4-tahun-2013-tentang-proteksi-dan-keselamatan-radiasi-dalam-pemanfaatan-tenaga-nuklir>.
- [2] G. J. Van der Plaats, *Medical X-Ray Techniques in Diagnostic Radiology*, Fourth Edi. United State of America: Springer Netherlands, 1980.
- [3] A. Beiser, *Concept of Modern Physics*, 6th Editio. United State of America: McGraw-Hill, 2003.
- [4] J. C. Rockley, “INDUSTRIAL RADIOGRAPHY.,” *Electron. Power*, vol. 23, no.

- 4, pp. 321–325, Jan. 1977, doi: 10.1049/ep.1977.0176.
- [5] W. . MEREDITH and J. MASSEY, *Fundamental Physics of Radiology*, Third Edition. Bristol, England: John Wright & Sons Ltd, 1977.
- [6] B. S.C, *Radiologic Science for Technologist Physic, biologic and Protection*, 10th edition. St.Louis Missouri: Elsevier Mosby, 2001.
- [7] G. A. Schlapper, “Measurement and Detection of Radiation,” *Nucl. Technol.*, vol. 67, no. 1, pp. 182–183, Apr. 1984, doi: 10.13182/nt84-a33542.
- [8] D. N. Dasril and N. Dewilza, “Uji Efektifitas Dinding Ruang Panoramik Instalasi Radiologi RSUD Prof. Dr. MA Hanafiah SM Batusangkar Menggunakan TLD-100,” *Phys. Educ. Res. J.*, vol. 2, no. 2, p. 95, Aug. 2020, doi: 10.21580/perj.2020.2.2.5087.
- [9] R. Alfina, “Analisis Paparan Dosis Radiasi Jarak Aman Petugas Dan Pasien Lain di Ruang ICU,” 2018, Accessed: Jun. 13, 2021. [Online]. Available: <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/8324?locale-attribute=ru>.
- [10] R. Anggarini, M. Muslim, and A. Mutanto, “Analisis Sebaran Radiasi Hambur Di Sekitar Pesawat Sinar-X Pada Pemeriksaan Tomografi Ginjal,” *J. Ilmiah. Giga*, vol. 17, no. 2, p. 63, Mar. 2019, doi: 10.47313/jig.v17i2.540.
- [11] F. Tulfala and Kasman, “Analisis Kontur Isodosis Paparan Radiasi Sinar-X di Instalasi Radiologi UPT Rumah Sakit Umum Daerah Madani Palu,” *Gravitasi*, vol. 19, no. 1, pp. 20–23, Juni. 2020, doi: 10.22487/gravitasi.v19i1.15105.
- [12] T. Trikasjono, D. Marjanto, and B. Timorti, “Analisis Keselamatan Pesawat Sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Sleman Yogyakarta,” *J. PTNBR-Batan*, pp. 278–289, Juni. 2009.
- [13] IAEA, *Applying Radiation Safety Standards in Diagnostic Radiology and Interventional Procedures Using X Rays*. 2006.