



Analisis Sebaran Dan Laju Dosis Radiasi Sinar-X Pada Ketinggian 1 Meter Pada Lintasan Berbeda Menggunakan Aplikasi Surfer

Jumardin Jumardin^{1,a*}, Sitti Normawati^{2,b}, Eka Putriani Umar^{1,c}

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

²Program Studi Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar

^ajumardin.jumardin@uin-alauddin.ac.id, ^bsittinormawati@poltekesmu.ac.id,
^cekaputriani2018@gmail.com

ABSTRACT: *This study aims to analyze the spatial distribution of doses and dose rates of digital radiography X-ray radiation at a height of one meter with variations in trajectories and distances from the scattered radiation source. Measurements were conducted in the radiology installation of Hospital X using a digital X-ray radiography unit and a RaySafe X2 surveymeter with a phantom as a patient representation. Data were collected on six measurement trajectories with varying distances of one meter and two meters from the radiation source. The highest dose value of 0.001319 mSv was obtained at a distance of one meter, while the lowest dose of 0.000212 mSv was recorded at a distance of two meters. The distribution of radiation exposure was visualized using Surfer software in the form of an isodose contour map. The results showed that the highest doses and dose rates of radiation were concentrated around the radiation source and decreased with increasing distance, in accordance with the inverse square law. This spatial visualization provides a comprehensive picture of the scatter radiation distribution pattern as a basis for radiation safety evaluation and radiation protection optimization in the radiology room.*

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi spasial dosis dan laju dosis radiasi sinar-X radiografi digital pada ketinggian satu meter dengan variasi lintasan serta jarak dari sumber radiasi hambur. Pengukuran dilakukan di instalasi radiologi rumah sakit X menggunakan unit digital radiography sinar-X dan surveymeter RaySafe X2 dengan phantom sebagai representasi pasien. Data dikumpulkan pada enam lintasan pengukuran dengan variasi jarak satu meter dan dua meter dari sumber radiasi. Nilai dosis tertinggi sebesar 0,001319 mSv diperoleh pada jarak satu meter, sedangkan dosis terendah sebesar 0,000212 mSv tercatat pada jarak dua meter. Distribusi paparan radiasi divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Surfer dalam bentuk peta kontur isodosis. Hasil penelitian menunjukkan dosis dan laju dosis radiasi tertinggi terkonsentrasi di sekitar sumber radiasi dan menurun seiring bertambahnya jarak, sesuai dengan hukum kuadrat terbalik. Visualisasi spasial ini memberikan gambaran pola sebaran radiasi hambur yang komprehensif sebagai dasar evaluasi keselamatan radiasi dan optimasi proteksi radiasi di ruang radiologi.

Kata Kunci: Dosis Radiasi, Laju Dosis, Kontur Radiasi, Sinar-X

**corresponding author*

email: jumardin.jumardin@uin-alauddin

DOI: 10.24252/sainfis.v6i1.66086

PENDAHULUAN

Radiografi digital (*Digital Radiography/DR*) sebagai salah satu modalitas pemeriksaan radiodiagnostik yang banyak digunakan di instalasi radiologi rumah sakit karena mampu menghasilkan citra berkualitas tinggi, waktu pemeriksaan yang relatif singkat, serta efisiensi dalam pengelolaan data citra. Modalitas ini memanfaatkan sinar-X yang termasuk dalam kategori radiasi pengion (Yudha & Dewilza, 2023). Meskipun pemanfaatan sinar-X memberikan manfaat besar dalam menunjang diagnosis medis, paparan radiasi yang dihasilkan perlu dikendalikan secara optimal karena berpotensi menimbulkan efek biologis yang merugikan bagi pekerja radiasi maupun lingkungan sekitar ruang radiologi apabila melebihi batas yang diizinkan (Wahyuni & Sugiarti, 2024).

Paparan radiasi sinar-X di ruang radiologi tidak hanya berasal dari berkas utama yang diarahkan ke objek pemeriksaan, tetapi juga dari radiasi hambur akibat interaksi sinar-X dengan pasien, meja pemeriksaan, serta komponen peralatan radiografi. Radiasi hambur tersebut menyebar ke berbagai arah selama proses penyinaran berlangsung dan dapat mengenai berbagai titik di dalam ruang radiologi (Japeri dkk., 2020). Paparan radiasi hambur yang diterima pekerja radiasi secara berulang dalam jangka panjang berpotensi meningkatkan risiko kesehatan, sehingga evaluasi dan pemantauan paparan radiasi diperlukan sebagai bagian dari penerapan prinsip keselamatan dan proteksi radiasi (Ananda dkk., 2025). Namun, kajian yang memetakan distribusi spasial dosis dan laju dosis radiasi hambur menggunakan visualisasi kontur isodosis di ruang radiografi digital masih terbatas, khususnya pada kondisi operasional klinis.

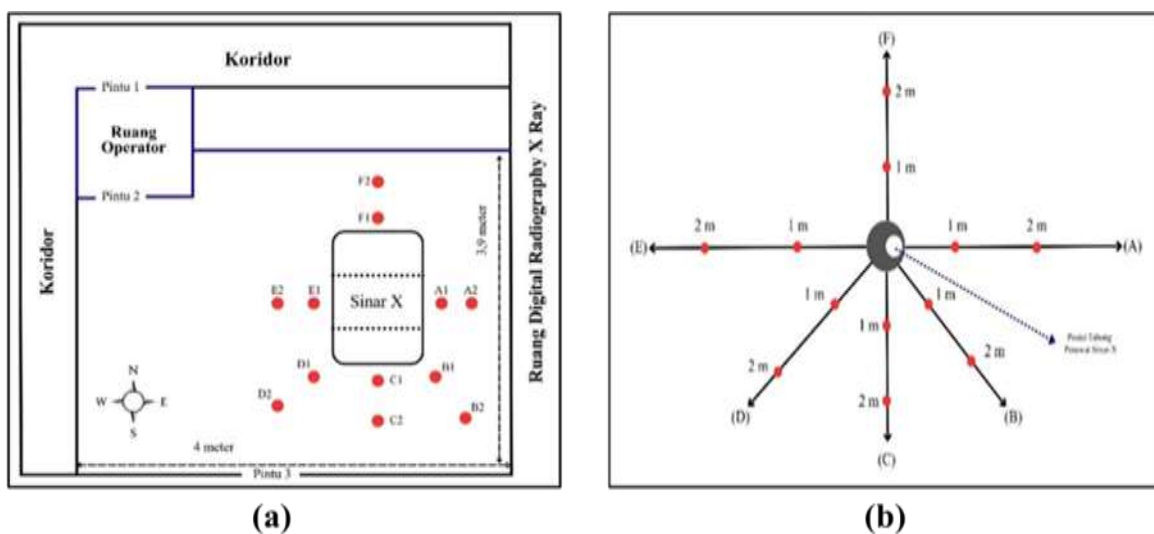
Pengukuran dosis dan laju dosis radiasi pada berbagai titik di dalam ruang radiologi diperlukan untuk memperoleh gambaran distribusi paparan radiasi secara spasial. Informasi distribusi dosis tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi tingkat keselamatan radiasi di lingkungan kerja radiologi serta menilai kesesuaiannya dengan standar keselamatan yang berlaku (Mayasari dkk., 2025). Data hasil pengukuran dianalisis secara kuantitatif dan divisualisasikan menggunakan aplikasi Surfer untuk memetakan distribusi spasial dosis dan laju dosis radiasi dalam bentuk peta kontur isodosis. Pendekatan ini memungkinkan penyajian informasi paparan radiasi secara menyeluruh, tidak terbatas pada nilai dosis di titik-titik tertentu, sehingga pola penyebaran radiasi hambur di dalam ruang radiologi dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Informasi yang dihasilkan memberikan dasar yang lebih kuat dalam evaluasi keselamatan radiasi, penentuan zonasi area, pengendalian akses serta optimasi proteksi radiasi bagi pekerja radiasi (Noya dkk., 2023).

Hasil pengukuran selanjutnya dievaluasi dengan mengacu pada Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radiologi Diagnostik dan Intervensional. Berdasarkan peraturan tersebut, batas dosis efektif bagi pekerja radiasi ditetapkan sebesar 20 mSv per tahun yang dirata-ratakan selama lima tahun berturut-turut dengan dosis maksimum 50 mSv dalam satu tahun, sedangkan batas dosis efektif bagi masyarakat umum sebesar 1 mSv per tahun. Perbandingan antara hasil pengukuran dan batas dosis tersebut penting untuk menilai tingkat keselamatan radiasi serta

mendukung penerapan prinsip keselamatan dan proteksi radiasi secara optimal (BAPETEN, 2013). Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan melalui pengukuran langsung dosis dan laju dosis radiasi radiografi digital sinar-X pada ketinggian 1 m dengan variasi lintasan dan jarak dari sumber radiasi, yang selanjutnya dianalisis secara kuantitatif dan dipetakan menggunakan aplikasi *Surfer* untuk mengevaluasi distribusi spasial paparan radiasi berdasarkan ketentuan keselamatan radiasi yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di instalasi radiologi rumah sakit X menggunakan unit DR X-Ray sebagai sumber radiasi hambur (*scattered radiation*) dan surveymeter (*X2 Survey Sensor Raysafe*) untuk mengukur tingkat paparan yang dilakukan dengan menempatkan *phantom* untuk merepresentasikan hamburan radiasi dari tubuh pasien dewasa di atas rak kayu. Penentuan jarak dilakukan secara presisi menggunakan meteran manual, sedangkan visualisasi distribusi radiasi diolah melalui pemetaan kontur menggunakan aplikasi *Surfer versi 21*. Penelitian dilakukan dengan memetakan denah ruangan pemeriksaan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 (a) yang kemudian menentukan titik pengukuran yang dirancang secara radial yang mencakup enam lintasan utama (Lintasan A hingga F), sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1 (b). Pada setiap lintasan, pengambilan data dilakukan pada dua variasi jarak, yaitu 1 m dan 2 m dari sumber radiasi hambur.



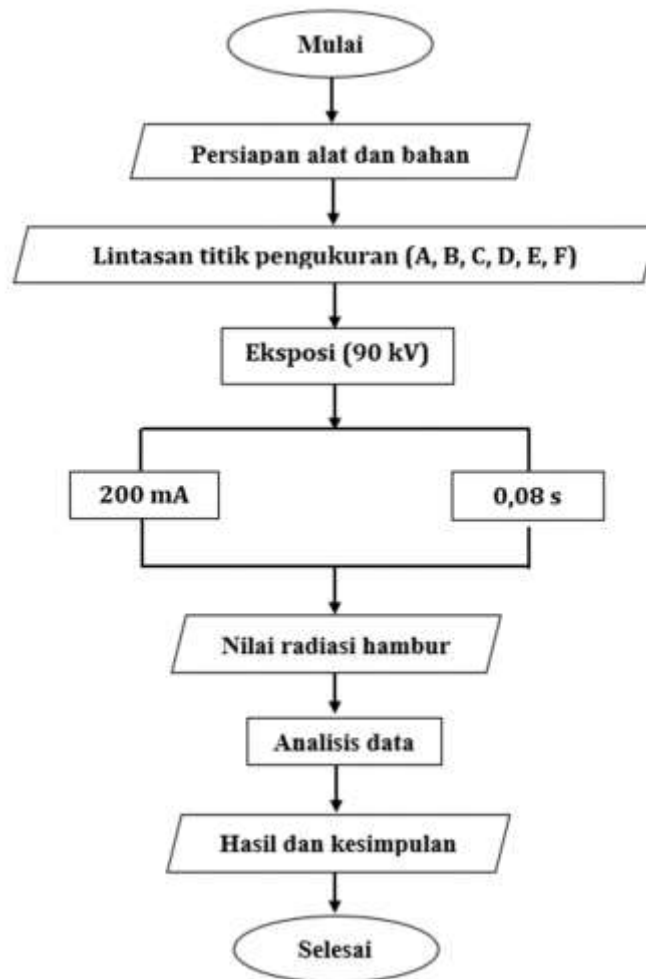
Gambar 1. (a) Denah ruang radiografi digital dan (b) posisi titik pengukuran hamburan radiasi sinar-X

Seluruh pengambilan data dilakukan pada ketinggian tetap 1 m di atas permukaan lantai, yang sejajar dengan titik pusat sumber radiasi hambur (*scattered radiation*). Parameter eksposi ditetapkan konstan pada tegangan tabung 90 kV, kuat arus 200 mA, dan waktu penyinaran 0,08 s. Laju paparan radiasi pada setiap titik ukur dicatat secara simultan selama

proses penyinaran, yang selanjutnya diolah menggunakan persamaan (1) untuk menentukan nilai dosis radiasi sebenarnya (D_s).

$$D_s = (D_u - D_{Bg}) \cdot F_k \quad (1)$$

Nilai D_s diperoleh dari selisih antara laju dosis terukur (D_u) dengan radiasi latar (D_{Bg}), kemudian dikalikan dengan faktor bobot radiasi (F_k) sebesar 1 (Yufita dkk., 2024). Visualisasi data dilakukan dengan mengonversi koordinat (X,Y) dan dosis sebenarnya ke format .csv, kemudian diimpor ke aplikasi Surfer. Proses *gridding* diterapkan menggunakan metode interpolasi *kriging* untuk membentuk pola spasial yang akurat. Selanjutnya, peta kontur isodosis dikonstruksi dengan skala gradasi warna untuk membedakan zona paparan tinggi hingga rendah. Hasil akhir diekspor dalam format .png untuk analisis visual dan .srf untuk kebutuhan pengeditan lanjutan (Noya dkk., 2023).



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dosis paparan radiasi dilakukan pada ketinggian 1 m dengan variasi lintasan dan jarak dari sumber sinar-X untuk mengetahui distribusi paparan radiasi di sekitar area pengukuran. Hasil pengukuran yang disajikan dalam bentuk tabel dan peta kontur dosis menunjukkan adanya variasi dosis pada setiap lintasan. Secara umum, nilai dosis menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi, yang sesuai dengan prinsip hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas radiasi berkurang secara signifikan dengan peningkatan jarak dari sumber (Seeram dkk., 2013).

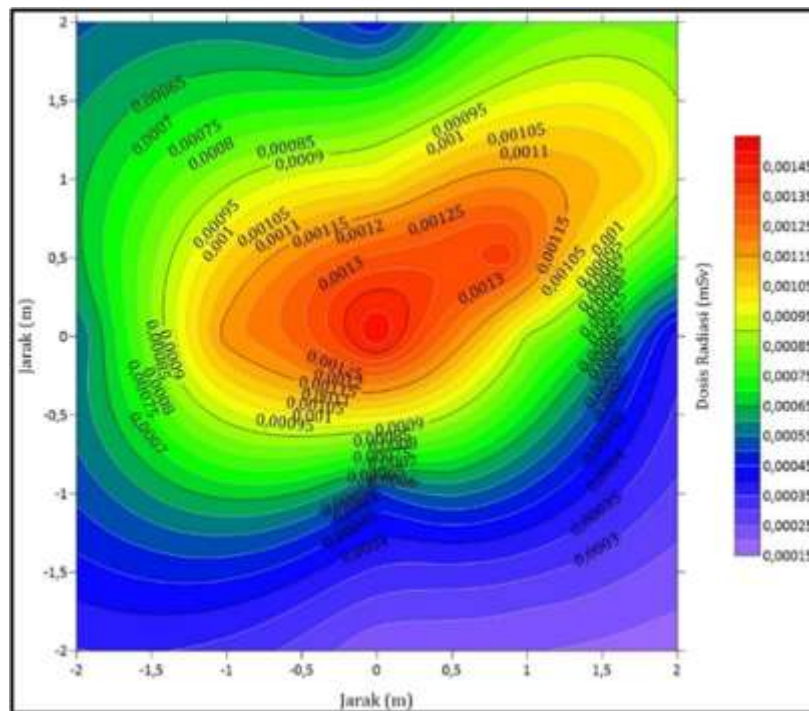
Tabel 1. Nilai dosis paparan radiasi digital radiografi sinar-X pada ketinggian 1 m

Ketinggian 1 meter			
Lintasan Pengukuran	Jarak pengukuran dari sumber radiasi (m)	Dosis radiasi terukur, (D_u) (mSv) (10^{-4})	Dosis radiasi sebenarnya (D_s) (mSv) (10^{-4})
A-1	1	1,001	1
A-2	2	0,463	0,462
B-1	1	1,319	1,318
B-2	2	1,074	1,073
C-1	1	0,891	0,890
C-2	2	0,367	0,366
D-1	1	0,648	0,647
D-2	2	0,252	0,251
E-1	1	0,486	0,485
E-2	2	0,213	0,212
F-1	1	1,181	1,180
F-2	2	0,556	0,555
<i>Dosis radiasi latar, (D_{Bg}) (mSv)</i>	0	0.1 x 10^{-4}	

Berdasarkan data pada tabel 1, dosis paparan radiasi tertinggi sebesar 0,001319 mSv diperoleh pada jarak 1 m dari sumber radiasi hambur, sedangkan dosis terendah sebesar 0,000212 mSv tercatat pada jarak 2 m. Secara umum, nilai dosis menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi, yang sejalan dengan prinsip hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas radiasi berkurang secara signifikan dengan meningkatnya jarak dari sumber. Variasi nilai dosis antar lintasan dipengaruhi oleh posisi titik pengukuran terhadap arah berkas utama sinar-X serta kontribusi radiasi hambur dari phantom, meja pemeriksaan, dan struktur ruangan. Kondisi ini menyebabkan distribusi

dosis tidak sepenuhnya simetris, terutama pada lintasan yang berada dekat dengan arah dominan berkas utama. (Putra dkk., 2023).

Sebaran spasial dosis radiasi yang ditampilkan pada gambar 3 memperlihatkan bahwa konsentrasi dosis tertinggi terpusat di sekitar sumber radiasi hambur dan menurun secara bertahap ke arah luar ruang radiologi. Pola ini konsisten dengan karakteristik penyebaran radiasi sinar-X dan mempertegas bahwa pengaturan jarak merupakan faktor utama dalam upaya optimasi proteksi radiasi bagi pekerja radiasi (Seeram dkk., 2013). Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan jarak merupakan faktor penting dalam upaya pengendalian dan optimasi proteksi radiasi di area pengukuran.



Gambar 3 Kontur dosis radiasi (mSv) ketinggian 1 meter.

Gambar 3 menunjukkan penyebaran dosis radiasi pada gambar kontur yang ditampilkan dengan gradasi warna, yang mewakili besarnya dosis dalam satuan milisievert (mSv). Warna merah menggambarkan tingkat paparan radiasi yang paling tinggi, sedangkan warna biru muda menunjukkan paparan yang paling rendah. Perubahan warna pada garis kontur menunjukkan bahwa dosis berkurang semakin jauh dari sumber radiasi. Ini sesuai dengan hukum kuadrat terbalik, yaitu intensitas radiasi akan berkurang seiring dengan kuadrat jaraknya dari sumber. Penurunan dosis ini sesuai dengan penelitian Putra (2023) dalam Jurnal Fisika Unand yang menggunakan metode pemetaan isodosis di ruang radiologi RS Universitas Andalas. Mereka menemukan bahwa radiasi paling besar terjadi tepat di depan sumber, sedangkan dosisnya berkurang drastis saat jaraknya lebih dari satu meter dan hampir mencapai nol ketika jaraknya mencapai dua meter.

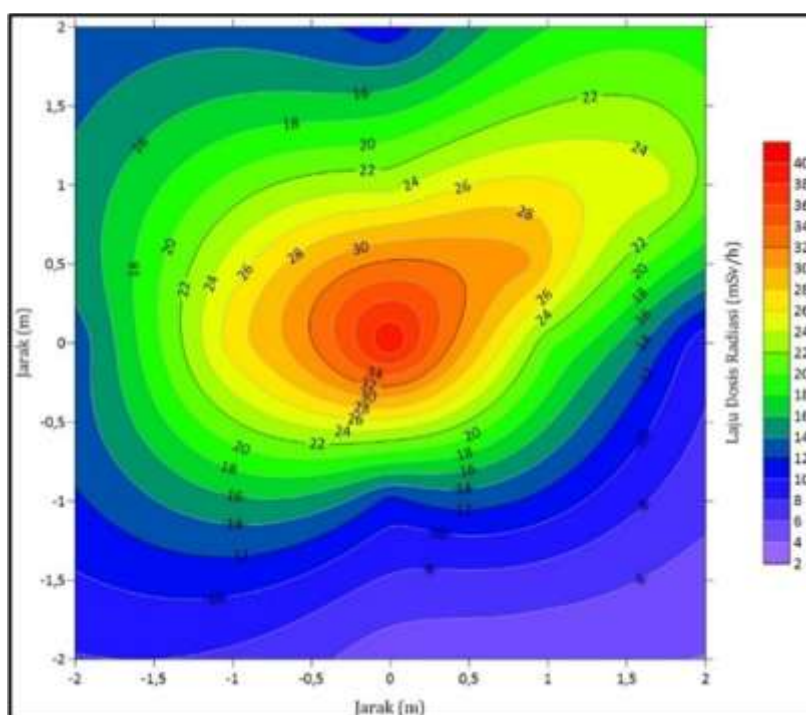
Tabel 2. Nilai laju dosis paparan radiasi digital radiografi sinar-X pada ketinggian 1 m

Lintasan pengukuran	Ketinggian 1 meter		
	Jarak pengukuran dari sumber radiasi (m)	Laju dosis radiasi terukur (D_u) (mSv/jam)	Laju dosis radiasi sebenarnya (D_s) (mSv/jam)
A-1	1	105,6	105,5997
A-2	2	23,17	23,1697
B-1	1	30,46	30,4597
B-2	2	24,63	24,6297
C-1	1	20,55	20,5497
C-2	2	8,466	8,4657
D-1	1	14,95	14,9497
D-2	2	5,792	5,7917
E-1	1	11,18	11,1797
E-2	2	4,883	4,8827
F-1	1	27,16	27,1597
F-2	2	12,76	12,7597
Laju dosis radiasi latar (D_{Bg}) (mSv/jam)	0	3×10^{-4}	

Berdasarkan Tabel 2, nilai laju dosis paparan radiasi menunjukkan variasi yang cukup signifikan pada setiap lintasan dan jarak pengukuran. Laju dosis tertinggi sebesar 105,6 mSv/h tercatat pada lintasan A-2. Nilai laju dosis yang relatif tinggi pada titik tersebut diduga dipengaruhi oleh kombinasi arah berkas utama sinar-X, pantulan radiasi dari dinding ruangan, serta posisi kolimator dan meja pemeriksaan yang memungkinkan terjadinya akumulasi radiasi hambur pada area tertentu. Temuan ini menunjukkan bahwa selain jarak, konfigurasi ruang dan orientasi peralatan turut berperan dalam menentukan distribusi laju dosis radiasi di dalam ruang radiologi (Almalki dkk., 2025).

Sebaran laju dosis radiasi yang ditampilkan pada gambar 4 menunjukkan bahwa area dengan laju dosis tertinggi berada di sekitar sumber radiasi dan pada lintasan tertentu yang berdekatan dengan arah berkas utama. Berdasarkan kriteria pengendalian area radiasi, zona dengan laju dosis tinggi tersebut dapat dikategorikan sebagai zona terkendali yang memerlukan pembatasan akses serta penerapan prinsip proteksi radiasi secara ketat. Sementara itu, area dengan laju dosis yang lebih rendah pada jarak yang lebih jauh dapat dikategorikan sebagai zona diawasi atau zona aman, sesuai dengan ketentuan keselamatan radiasi yang berlaku (Rahmawati dkk., 2025).

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dosis dan laju dosis radiasi digital radiografi sinar-X pada ketinggian 1 m menurun seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi, yang sesuai dengan karakteristik sebaran radiasi sinar-X dan prinsip hukum kuadrat terbalik (Seeram dkk., 2013). Nilai dosis yang diperoleh berada pada tingkat rendah dan masih berada di bawah batas yang direkomendasikan, sedangkan laju dosis tertinggi terkonsentrasi di sekitar sumber radiasi dan menurun secara bertahap ke arah luar. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian terkini yang menegaskan bahwa pengaturan jarak, pembagian zona radiasi, serta pembatasan akses pada area dengan laju dosis tinggi merupakan aspek penting dalam penerapan prinsip proteksi radiasi untuk menjamin keselamatan pekerja dan lingkungan sekitar (Putra dkk., 2023; Rahmawati dkk., 2025).



Gambar 4. Kontur laju dosis radiasi (mSv/h) ketinggian 1 meter

Visualisasi distribusi spasial dosis dan laju dosis radiasi menggunakan peta kontur isodosis berbasis perangkat lunak *Surfer* memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pola penyebaran radiasi hambur di dalam ruang radiologi. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar evaluasi keselamatan radiasi, khususnya dalam penentuan zonasi area, pengendalian akses, serta pengaturan posisi kerja pekerja radiasi guna meminimalkan paparan yang diterima. Secara umum, nilai dosis radiasi yang diperoleh masih berada di bawah batas dosis yang ditetapkan dalam ketentuan keselamatan radiasi yang berlaku. Meskipun demikian, keberadaan laju dosis yang relatif tinggi pada area tertentu menunjukkan pentingnya penerapan prinsip proteksi radiasi secara konsisten. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi parameter eksposi, penggunaan

pelindung radiasi, serta perbedaan konfigurasi ruang radiologi terhadap distribusi paparan radiasi guna mendukung upaya optimasi keselamatan radiasi secara berkelanjutan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, bahwa distribusi dosis dan laju dosis radiasi digital radiografi sinar-X pada ketinggian 1 meter menunjukkan pola penurunan seiring bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Pola sebaran ini sesuai dengan karakteristik radiasi sinar-X dan prinsip hukum kuadrat terbalik, di mana intensitas radiasi berkurang secara signifikan dengan meningkatnya jarak dari sumber. Area dengan paparan tertinggi teridentifikasi berada di sekitar sumber radiasi, sedangkan paparan radiasi menurun secara bertahap ke arah luar ruang radiologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Almalki, M., Shubayr, N., Alkabbabi, A., Aldosari, A., & Aldawood, S. (2025). Assessment of occupational radiation exposure among various medical professions in interventional cardiology: A five-year study (2018–2022). *Radioprotection*, 60(3), 234–241. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2025003>
- Ananda, D., Dewi, S. N., & Utami, A. P. (2025). Uji Kebocoran Paparan Radiasi Pada Ruang Pemeriksaan Sinar-X Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit PKU Bantul. *PREPOTIF : Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 9(1), 631–640.
- BAPETEN. (2013). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Radioterapi*.
- Japeri, J., Saifi, S., Persadha, G., & Zaini, M. (2020). Calculation Of Radiation Dosage Value In Patients Based On Android Application. *Jurnal Kajian Ilmiah Kesehatan dan Teknologi*, 2(2), 9–15. <https://doi.org/10.52674/jkikt.v2i2.31>
- Mayasari, R., Nurhasanah, & Hasanuddin. (2025). Dosis Paparan Radiasi Foto Thorax Pada Pasien Dewasa Laki-Laki dan Perempuan. *PRISMA FISIKA*, 13(01), 22–27.
- Noya, Y. A., Loupatty, S. R., Manuputty, G. D., & Ratuluhain, E. S. (2023). Pelatihan Pembuatan Peta Kontur Tiga Dimensi dengan Menggunakan Program Surfer. *HIRONO : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 86–93. <https://doi.org/10.55984/hirono.v3i2.141>
- Putra, M. I. H., Adrial, R., & S, A. O. (2023). Analisis Kontur Isodosis Radiasi pada Pesawat Sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 12(2), 329–334. <https://doi.org/10.25077/jfu.12.2.328-333.2023>
- Rahmawati, I., Milvita, D., & Hiswara, E. (2025). Evaluasi Penerapan Proteksi Radiasi pada Ruangan dan Pekerja Radiasi di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas. *Jurnal Fisika Unand*, 14(4), 394–400. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.4.394-400.2025>
- Seeram, E., Davidson, R., Bushong, S., & Swan, H. (2013). Radiation dose optimization research: Exposure technique approaches in CR imaging – A literature review. *Radiography*, 19(4), 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2013.07.005>

- Wahyuni, F., & Sugiarti, S. (2024). Pengaruh Penggunaan Phantom dalam Pengukuran Paparan Radiasi Sinar-X untuk Proteksi Radiasi. *SAINTIFIK*, 10(1), 89–94. <https://doi.org/10.31605/saintifik.v10i1.479>
- Yudha, S., & Dewilza, N. (2023). *Radiografi Digital*. Deepublish.
- Yufita, E., Fitriani, F., Fasbir, F., & Safitri, R. (2024). Analisa Pengaruh Fungsi Jarak Pesawat Sinar-X Terhadap Sebaran Dosis Radiasi di Ruang Laboratorium Klinik. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 7(2), 94–101. <https://doi.org/10.29103/relativitas.v7i2.18234>