



Analisis Dosis Paparan Radiasi Sekitar Ruang Pemeriksaan CT-Scan di Instalasi Radiologi RSUD Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda

Siti Arafatillah^{1,*}), Adrianus Inu Natalisanto², Devina Rayzy Perwitasari S.P.³

¹)Program studi Fisika FMIPA Universitas Mulawarman
Jl. Barong Tongkok No. 4, Samarinda 70123, Kalimantan Timur, Indonesia

*E-mail korespondensi: arafatillahazahra@gmail.com

Article Info:

Received: 21-04-2025

Revised: 28-05-2025

Accepted: 28-05-2025

Keywords:

CT-Scan, radiation, surveymeter



Abstract

This study aims to determine the level of radiation exposure in the surrounding area and evaluate the level of exposure according to BAPETEN's safe limits. In addition, this study tries to identify areas with radiation potential that exceeds the safe limit and find out the cause. The research method includes data collection by direct measurement using a surveymeter. The results obtained show significant variations in exposure levels at each location. In the operator's room, the dose rate of 1.62 mSv/h exceeded the permissible limit for radiation workers, which was likely due to proximity to radiation sources and suboptimal protection. In the ultrasound room, the dose rate was 0.497 mSv/hour. This value is still below the controlled area limit but above the public safety limit of 0.1 mSv/hour. In the hallway, the measured dose rate was 0.462 mSv/hr which also exceeded the public limit, requiring access restrictions for the public. The garden area showed a dose rate of 0.604 mSv/hour, with high exposure for areas that may be accessed by the public. Therefore, practical recommendations include the addition of shielding, access restrictions, and installation of warning signs to reduce exposure in areas frequently accessed by the public.

PENDAHULUAN

Radiologi diagnostik merupakan cabang ilmu kedokteran yang menggunakan teknologi pencitraan berbasis radiasi pengion, seperti sinar-X, untuk mendukung proses diagnosis penyakit. Salah satu perangkat diagnostik yang memanfaatkan teknologi ini adalah Computed Tomography Scan (CT-Scan). CT-Scan memungkinkan visualisasi jaringan dan struktur tubuh secara rinci melalui berbagai sudut pencitraan, sehingga menjadi alat yang sangat penting dalam dunia medis [1]. Meskipun memberikan manfaat yang besar, paparan radiasi dari penggunaan sinar-X berisiko menimbulkan efek biologis yang merugikan, terutama bagi pekerja medis, pasien, dan masyarakat di sekitar instalasi radiologi. Radiasi pengion dapat menyebabkan dua jenis efek utama, yaitu efek stokastik dan efek deterministik. Efek stokastik terjadi secara probabilistik tanpa memerlukan dosis ambang tertentu, sedangkan efek deterministik timbul jika dosis radiasi yang diterima melebihi dosis ambang, dengan keparahan yang meningkat seiring dosis yang diterima [2]. Untuk meminimalkan dampak buruk tersebut, diperlukan langkah proteksi radiasi yang ketat, termasuk pengendalian dosis paparan radiasi di lingkungan kerja radiologi.

Pengukuran dosis paparan radiasi menggunakan surveymeter telah dilakukan pada berbagai penelitian sebelumnya. Ancila & Hidayanto (2016) melaporkan bahwa dosis radiasi di ruang operator mencapai 5,83 μ Sv/jam, sementara di koridor karyawan tidak terdeteksi adanya

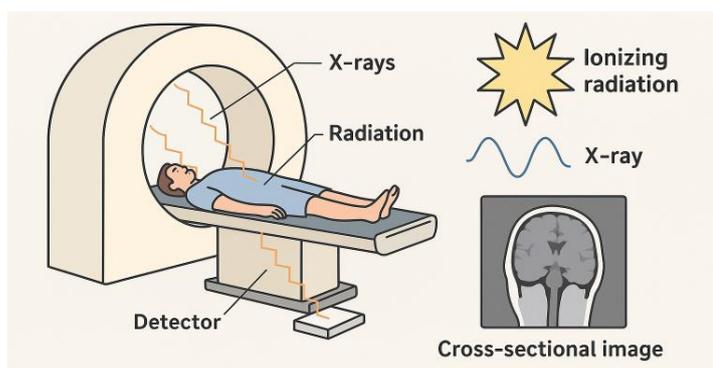
paparan radiasi [3]. Putri & Sudiyono (2018) menemukan bahwa dosis radiasi di ruang pemeriksaan CT-Scan sebesar $29,5 \mu\text{Sv}/\text{jam}$, sementara pada area tidak terkontrol seperti pintu masuk pasien, terukur sebesar $1,75 \mu\text{Sv}/\text{jam}$ [4]. Kemudian, penelitian lain dilakukan oleh Else & Gusti (2024) menemukan laju dosis tertinggi berturut-turut berada pada jarak 30 cm, 50 cm, dan 100 cm, dengan nilai 1,95, 0,94, dan $0,05 \mu\text{Sv}/\text{tahun}$ [5]. Hasil ini menunjukkan pentingnya pemantauan paparan radiasi di berbagai area instalasi radiologi.

Didorong oleh pengalaman Praktik Kerja Lapangan (PKL) di instalasi radiologi yang menunjukkan efek deterministik paparan radiasi (pusing, mual, dan gatal-gatal), penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi paparan radiasi di sekitar ruang CT-Scan RSUD Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda. Meskipun penelitian sebelumnya (Ancila & Hidayanto, 2016; Putri & Sudiyono, 2018; Ilmi & Rochmayanti, 2020; Else & Gusti, 2024) telah meneliti paparan radiasi, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan melalui analisis yang lebih mendalam, mengungkap variasi paparan yang lebih rinci dan memberikan informasi yang lebih akurat untuk strategi mitigasi yang efektif demi keselamatan pekerja medis, pasien, dan masyarakat umum.

Radiasi

Radiasi merupakan suatu perambatan energi melalui materi atau ruang dalam bentuk panas, partikel, atau gelombang elektromagnetik (foton) dari suatu sumber energi (Edward, Statkiewicz, & Ritenour, 1990). Menurut Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), radiasi adalah energi yang dipancarkan dalam bentuk partikel atau gelombang yang mampu mengionisasi medium yang dilaluinya [6].

Berdasarkan sifatnya, radiasi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu radiasi pengion dan radiasi non pengion. Radiasi pengion adalah setiap radiasi yang mampu menghasilkan ionisasi oleh interaksi dengan materi seperti sel pada tubuh manusia [7]. Radiasi yang digunakan dalam CT-Scan merupakan jenis radiasi pengion yang berasal dari sinar-X. Radiasi ini memiliki energi cukup tinggi untuk mengionisasi atom dalam jaringan tubuh manusia, sehingga memungkinkan pencitraan organ dalam secara detail. Dalam prosedur CT-Scan, sinar-X dipancarkan dari berbagai sudut dan melewati tubuh pasien; energi yang diserap dan ditransmisikan kemudian ditangkap oleh detektor untuk membentuk gambar potongan melintang [8].



Gambar 1. Radiasi dalam CT-Scan

CT-Scan

Salah satu modalitas sinar-X yang sering digunakan dalam radiologi diagnostik adalah *Computed Tomography Scan* (CT-Scan). CT-Scan adalah prosedur untuk mendapatkan gambaran dari berbagai area kecil dari tulang termasuk tengkorak kepala dan otak. Citra hasil akuisisi atau rekaman CT-Scan dapat membantu memperjelas adanya dugaan yang kuat tentang kelainan yang terjadi pada otak. CT-Scan terdiri dari tiga bagian, yaitu:

1. Sistem akuisisi citra, sistem komputer dan kendali
2. Stasiun operasi
3. Stasiun pengamat.

CT-Scan bekerja dalam sistem akuisisi citra terdapat *frame* pipa dari mesin yang mendukung sistem akuisisi citra dan merupakan bagian sistem yang langsung berhadapan dengan pasien. *Scanner* terdiri atas sumber Sinar-X, *collimator*, detektor, dan bagian akuisisi data [9].



Gambar 2. CT-Scan

Proteksi Radiasi

Keselamatan pekerja radiasi erat kaitannya dengan jumlah dosis radiasi yang diterima. Proteksi radiasi adalah langkah-langkah yang diambil untuk meminimalkan dampak merusak dari paparan radiasi. Pemeriksaan radiodiagnostik dengan sinar-X berpotensi menimbulkan efek samping pada tubuh manusia [10].

Tujuan utama proteksi radiasi adalah mencegah terjadinya efek deterministik dan menekan risiko efek stokastik serendah mungkin. Berdasarkan PERKA BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir, pekerja radiasi tidak boleh menerima dosis radiasi lebih dari 100 mSv dalam lima tahun, dengan rata-rata tahunan tidak melebihi 20 mSv, sementara masyarakat umum dibatasi hingga 1 mSv per tahun [11]. Dengan memahami bahaya sinar-X dan menerapkan langkah-langkah efektif untuk mengurangi risikonya, kita dapat meminimalkan kemungkinan terjadinya efek biologis pada jaringan. Oleh karena itu, tindakan proteksi radiasi diperlukan [12].

Invers Square Law

Dalam hal proteksi radiasi eksternal, terdapat tiga teknik untuk mengontrol penerimaan radiasi khususnya bagi pekerja radiasi, yaitu meminimalkan jarak, meminimalkan waktu dan pemakaian perisai radiasi [13]. Melihat adanya kemungkinan dampak negatif dari radiasi pengion, maka jarak merupakan salah satu cara yang paling efektif untuk mengurangi radiasi yang diterima [14].

Faktor jarak berkaitan erat dengan intensitas (*I*) radiasi. Intensitas radiasi pada suatu titik akan berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik tersebut dengan sumber radiasi. Dalam persamaan matematis dapat dituliskan sebagai:

$$I = \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

dengan:

- I* : Intensitas radiasi (mSv/jam)
- A* : Rata-rata intensitas radiasi (mSv/jam)
- r* : Jarak (m)

BAPETEN

Area kerja di fasilitas radiologi dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu area terkendali dan area supervisi, dengan batasan dosis yang berbeda sesuai tingkat paparan dan pengawasan yang diperlukan. Area terkendali, yang berada dekat dengan sumber radiasi atau aktivitas radiologis,

memiliki batas dosis maksimal sebesar 10 mSv per tahun untuk pekerja, dengan laju dosis maksimum 5 mSv/jam dan batas dosis mingguan sebesar 0,2 mSv per minggu. Di area ini, prosedur keamanan tambahan diperlukan, seperti pemasangan tanda peringatan, pembatasan akses, dan penggunaan alat pelindung diri untuk pekerja radiasi guna menjaga keselamatan mereka. Sementara itu, area supervisi adalah area dengan potensi paparan radiasi yang lebih rendah dan biasanya terlindungi oleh penghalang struktural. Untuk area supervisi, batas dosis tahunan yang diterapkan umumnya adalah 1 mSv, sesuai dengan batas paparan yang diperbolehkan bagi publik. Meski area supervisi tidak memerlukan pengawasan seketat area terkendali, pemantauan secara rutin tetap diperlukan untuk memastikan paparan radiasi selalu berada dalam batas aman bagi lingkungan kerja [15].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Abdoel Wahab Sjahranie (AWS) Samarinda. Studi literatur dan perancangan penelitian dilakukan dari bulan Maret hingga Mei 2023. Metode penelitian ini dilakukan dengan menganalisis sebaran dosis paparan radiasi pada ruang pemeriksaan CT-Scan. Data diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan alat *surveymeter*, meteran, dan alat tulis. Pengukuran tersebut dilakukan pada titik yang telah ditentukan seperti pada ruang operator, selasar, ruang USG, dan taman. Hasil data lapangan tersebut kemudian dihitung menggunakan persamaan *inverse square law* untuk memperoleh data baru dan dibandingkan dengan Nilai Batas Dosis (NBD) tahunan yang ditetapkan oleh BAPETEN. Selanjutnya, data tersebut diolah menggunakan *software surfer* untuk menampilkan *contour* paparan radiasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan tabel hasil pengukuran paparan radiasi sekitar ruang pemeriksaan CT-Scan pada beberapa titik pengukuran yakni, ruang operator, ruang USG, selasar, dan taman menggunakan *surveymeter*. Faktor eksposi diukur dengan menggunakan tegangan 120 kV dan muatan tabung sebesar 200 mAs. Faktor kalibrasi dari *surveymeter* yang digunakan adalah 1,02.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Paparan Radiasi di Ruang Operator

No	Jarak dari sumber (m)	Data	Jumlah paparan radiasi (mSv/h) × Faktor kalibrasi (1,02)	Hasil terukur (mSv/h)
1.		1	1,7952	
2.	2	2	1,5300	1,62
3.		3	1,6422	
4.		4	1,5096	

Tabel 1. Hasil Pengukuran Paparan Radiasi di Ruang USG

No	Jarak dari sumber (m)	Data	Jumlah paparan radiasi (mSv/h) × Faktor kalibrasi (1,02)	Hasil terukur (mSv/h)
1.		1	0,5100	
2.	1,98	2	0,4896	0,497
3.		3	0,4896	
4.		4	0,4998	

Tabel 2. Hasil Pengukuran Paparan Radiasi di Selasar

No	Jarak dari sumber (m)	Data	Jumlah paparan radiasi (mSv/h) × Faktor kalibrasi (1.02)	Hasil terukur (mSv/h)
1.		1	0,4896	
2.	4,6	2	0,4692	0,462
3.		3	0,4080	
4.		4	0,4794	

Tabel 3. Hasil Pengukuran Paparan Radiasi di Taman

No	Jarak dari sumber (m)	Data	Jumlah paparan radiasi (mSv/h) × Faktor kalibrasi (1.02)	Hasil terukur (mSv/h)
1.		1	0,6120	
2.	2	2	0,6426	0,604
3.		3	0,5916	
4.		4	0,5712	

Tabel 4. Hasil Pengukuran Paparan Radiasi Sekitar Ruang Pemeriksaan CT-Scan

Titik Sampel	Laju Dosis Terukur (mSv/jam)	Batas Dosis Pekerja (mSv/tahun)	Batas Dosis Publik (mSv/tahun)	Laju Dosis Max. Pekerja (mSv/jam)	Laju Dosis Max. Publik (mSv/jam)	Keterangan
Ruang Operator	1,62	20	10	1	0,1	Melebihi batas dosis pekerja dan publik
Ruang USG	0,497	20	10	1	0,1	Memenuhi batas pekerja, melebihi batas publik
Ruang Selasar	0,462	20	10	1	0,1	Memenuhi batas pekerja, melebihi batas publik
Taman	0,604	20	10	1	0,1	Memenuhi batas pekerja, melebihi batas publik

Berdasarkan tabel hasil pengukuran hasilnya menunjukkan bahwa terdapat variasi tingkat paparan di masing-masing lokasi, yang memerlukan strategi proteksi radiasi yang berbeda sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam PERKA BAPETEN. Pada ruang operator, laju dosis terukur sebesar 1,62 mSv/jam melebihi batas maksimum yang diperbolehkan untuk pekerja radiasi, yaitu 1 mSv/jam. Tingginya paparan di ruang operator kemungkinan besar disebabkan

oleh posisi ruangan yang dekat dengan sumber radiasi dan kurangnya perisai yang efektif dalam menghalangi paparan langsung dari alat CT-Scan.

Pada ruang USG, laju dosis terukur sebesar 0,497 mSv/jam. Nilai ini masih berada di bawah batas laju dosis maksimal untuk pekerja radiasi di area terkendali, yaitu 5 mSv/jam, sehingga aman dalam konteks waktu paparan yang terbatas (BAPETEN, 2013). Namun, laju dosis ini berada di atas batas aman untuk publik sebesar 0,1 mSv/jam. Hal ini menunjukkan, bahwa ruang USG hanya aman bagi pekerja dengan durasi terbatas dan pengawasan ketat, sementara paparan yang jauh melebihi batas bagi publik menjadi perhatian serius.

Ruang selasar memiliki laju dosis terukur sebesar 0,462 mSv/jam, yang masih di bawah batas laju dosis maksimal untuk pekerja radiasi di area terkendali (5 mSv/jam), namun tetap melampaui batas aman untuk publik (0,1 mSv/jam) (BAPETEN, 2013). Lokasi selasar yang sering diakses oleh publik meningkatkan risiko paparan jangka panjang bagi individu yang mungkin tidak sepenuhnya menyadari potensi bahaya radiasi di area tersebut. Karena itu, proteksi di area selasar harus mencakup langkah-langkah seperti pembatasan akses atau pengaturan waktu kunjungan bagi publik, serta pemasangan tanda peringatan yang jelas agar masyarakat dapat mengambil tindakan pencegahan.

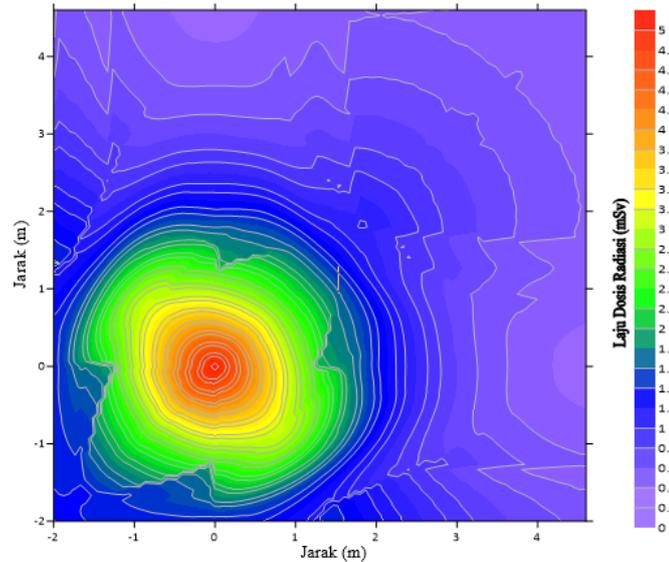
Di area taman, laju dosis terukur sebesar 0,604 mSv/jam jauh melebihi batas laju dosis yang diperbolehkan untuk publik, yaitu 0,1 mSv/jam (BAPETEN, 2013). Meski taman bukan area kerja utama, tingginya paparan radiasi di lokasi ini memerlukan perhatian serius, terutama jika taman sering diakses oleh publik, yang mungkin tidak menyadari risiko potensial. Tingginya paparan radiasi di area luar ini kemungkinan disebabkan oleh penetrasi radiasi dari ruang CT-Scan melalui celah atau area yang kurang terlindungi. Untuk mengurangi paparan, langkah proteksi radiasi di area taman dapat meliputi penambahan struktur penghalang, seperti dinding tambahan atau penggunaan penghalang alami, guna membatasi penyebaran radiasi.

Data lapangan yang telah diperoleh dapat dimanfaatkan untuk membuat pemodelan menggunakan fungsi jarak kuadrat terbalik (*inverse square law*). Fungsi ini digunakan untuk memodelkan hubungan antara paparan radiasi dengan jarak dari sumber [16]. Dengan memanfaatkan fungsi ini, kita dapat memperoleh model yang lebih komprehensif tentang paparan radiasi di sekitar area yang diukur dan bahkan memprediksi paparan radiasi di lokasi lain dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Berikut tabel 6 merupakan hasil perhitungan menggunakan fungsi *inverse square law* yang didapatkan dari data lapangan:

Tabel 6. Tabel Data Baru Berdasarkan Fungsi *Inverse Square Law*

x (m)	y (m)	A (mSv)	f(x,y) (mSv)
0	-2	5,303576	1,325894
4,6	0	5,303576	0,250642
0	2	5,303576	1,325894
-1,98	0	5,303576	1,352815
0,06	-1,98	5,303576	1,351574
0,11	-1,95	5,303576	1,390336
0,17	-1,93	5,303576	1,412855
0,23	-1,9	5,303576	1,447917
0,29	-1,88	5,303576	1,465684
0,34	-1,85	5,303576	1,49899
0,4	-1,82	5,303576	1,527352
0,46	-1,8	5,303576	1,536556
0,52	-1,77	5,303576	1,558363
0,57	-1,75	5,303576	1,565678
0,63	-1,73	5,303576	1,564569

Setelah melakukan perhitungan dari data lapangan paparan radiasi di sekitar ruang pemeriksaan CT-Scan, hasilnya dapat diintegrasikan dalam pemetaan kontur radiasi.



Gambar 1. Kontur Dosis Paparan Radiasi Menggunakan Fungsi *Inverse Square Law*

Berdasarkan analisis kontur distribusi laju dosis radiasi yang dihasilkan dengan metode *inverse square law*, dapat terlihat bahwa area dengan paparan tertinggi berada di sumber radiasi pada titik (0,0), yang memiliki laju dosis sebesar 5 mSv/jam. Distribusi laju dosis menunjukkan pola penurunan secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Di titik-titik yang lebih dekat, seperti ruang operator (0, -2), ruang USG (-2, 0), dan taman (0, 2), laju dosis terukur berdasarkan hasil kontur adalah 1,32589 mSv/jam. Sementara itu, selasar pada titik (4,8, 0) memiliki laju dosis sebesar 0,23019 mSv/jam, yang lebih rendah namun tetap melebihi batas laju dosis yang aman untuk area supervisi (0,1 mSv/jam) sesuai peraturan BAPETEN.

Perbandingan antara hasil kontur dan hasil pengukuran lapangan menunjukkan adanya perbedaan pada beberapa titik. Hasil pengukuran lapangan di ruang operator menunjukkan laju dosis sebesar 1,62 mSv/jam, lebih tinggi dari hasil kontur yang sebesar 1,32589 mSv/jam. Hal ini bisa diakibatkan oleh faktor tambahan, seperti refleksi radiasi dari permukaan atau adanya celah yang memungkinkan radiasi terhambur. Di ruang USG, hasil kontur memperkirakan laju dosis yang lebih tinggi, yaitu 1,32589 mSv/jam, sementara pengukuran lapangan menunjukkan angka yang lebih rendah, yakni 0,497 mSv/jam. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya perlindungan tambahan atau penghalang struktural di ruang USG yang mengurangi paparan radiasi aktual.

Selasar dan taman yang berfungsi sebagai area publik dan sering diakses menunjukkan perbedaan yang signifikan antara hasil kontur dan pengukuran lapangan. Di selasar, laju dosis kontur adalah 0,23019 mSv/jam, sementara pengukuran lapangan mencatat laju dosis lebih tinggi, yaitu 0,462 mSv/jam. Perbedaan ini menunjukkan bahwa selasar mungkin menerima paparan radiasi dari kebocoran kecil atau hamburan dari area di sekitar ruang CT-Scan. Sedangkan di taman, hasil kontur memperkirakan laju dosis 1,32589 mSv/jam, lebih tinggi dari pengukuran lapangan yang hanya 0,604 mSv/jam, yang mungkin disebabkan oleh penghalang alami atau jarak yang efektif mengurangi paparan radiasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa paparan radiasi di sekitar ruangan pemeriksaan CT-Scan bervariasi, dengan ruang operator mencatat paparan tertinggi (1,62 mSv/jam) dan selasar paparan terendah (0,462 mSv/jam). Hasil analisis menunjukkan bahwa laju dosis radiasi di ruang operator, paparan yang terukur berada di atas batas maksimum pekerja radiasi. Sementara, ruang USG, selasar, dan taman, berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan untuk pekerja radiasi. Namun, pada daerah supervise, yakni pada selasar

dan taman, laju dosis ini melebihi batas aman yang ditetapkan untuk publik (0,1 mSv/jam), Ini menunjukkan bahwa tingkat paparan di area yang diakses publik masih perlu diperhatikan

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan selama penulisan dan review jurnal ini. Terima kasih juga kami sampaikan kepada Ibu Erlinda Ratnasari Putri, S.Si, M.Si, sebagai dosen pengampu mata kuliah ini, atas bimbingan dan arahan dalam memahami materi. Dan terakhir, rasa terima kasih kami tujukan kepada teman-teman seperjuangan yang telah bekerja sama dan mendukung dalam menyelesaikan studi literatur ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Yusanti, W. S. Budi, dan K. Adi, "Penentuan Quality Control (QC) Resolusi Spasial Pada Citra CT Scan Dengan Metode Line SPREAD Function (LSF) Dan Point SPREAD Function (PSF) Menggunakan Phantom AAPM CT Performance," *Berkala Fisika*, pp. 39–44, 2014.
- [2] Y. M. Laitabun, H. Sutanto, dan C. Anam, "Pengukuran Laju Paparan Radiasi Sinar-X Pada Ruang Operator RSUD Prof. DR. W. Z. Johannes Kupang," *Youngster Phys. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 49–52, 2013.
- [3] Ancila, C., & Hidayanto, E. 2016. *Analisis Dosis Paparan Radiasi Pada Instalasi Radiologi Dental Panoramik. Youngster Physics Journal, Vol. 5*, 441-450.
- [4] Putri, D. F., & Sudiyono. 2018. *Pengukuran Laju Paparan Radiasi Pada Ruang CT-Scan. Jurnal Radiografer Indonesia*, 94-103.
- [5] Prameswari, E. P. A., Sutapa, G. N., Ratnawati, I. G. A. A., Ratini, N. N., Artawan, I. N., & Trisnawati, N. L. P. (2024). Analisis Laju Dosis Radiasi di Area Ruang CT Scan di Instalasi Radiologi RSUD Bali Mandara. *Kappa Journal*, 8(2), 201-207.
- [6] BATAN, *Pengenalan Radiasi*, Pusdiklat Batan, 2005. [Online]. Available: www.batan.go.id. [Accessed: Mar. 20, 2023].
- [7] C. Ancila dan E. Hidayanto, "Analisis Dosis Paparan Radiasi Pada Instalasi Radiologi Dental Panoramik," *Youngster Phys. J.*, vol. 5, pp. 441–450, 2016.
- [8] Bushberg, J. T., Seibert, J. A., Leidholdt, E. M., & Boone, J. M. (2012). *The Essential Physics of Medical Imaging*.
- [9] W. Yusanti, W. S. Budi, dan K. Adi, "Penentuan Quality Control (QC) Resolusi Spasial Pada Citra CT Scan Dengan Metode Line SPREAD Function (LSF) Dan Point SPREAD Function (PSF) Menggunakan Phantom AAPM CT Performance," *Berkala Fisika*, pp. 39–44, 2014.
- [10] BAPETEN. 2013. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
- [11] M. Akhadi, *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, Indonesia: PT. Rineka Cipta, 2000.
- [12] Sherer, MAS, Visconti, PJ & Ritenour, ER. 2006. *Radiation Protection In Medical Radiography*. Canada: Mosby. Inc.
- [13] M. Akhadi, *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, Indonesia: PT. Rineka Cipta, 2000.
- [14] R. Aryawijayanti, S. Susilo, dan Sutikno, "Analisis Dampak Radiasi Sinar-X pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi di Laboratorium Fisika Medik," *J. MIPA*, vol. 38, no. 1, pp. 25–30, 2015.

- [15] BAPETEN, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Perlindungan dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Jakarta, Indonesia: Badan Pengawas Tenaga Nuklir, 2013.
- [16] Syahria, Setiawati E & Firdausi KS. 2012. *Pembuatan Kurva Isodosis Paparan Radiasi di Ruang Pemeriksaan Instalasi Radiologi RSUD Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara*. *Berkala Fisika*, 15(4):123-132.