



Analisis Kontur Isodosis Radiasi Sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Daerah Labuang Baji Makassar

Sitti Normawati¹*, Jumardin Jumardin², Rezky Ulandari², Hidayat Dg Manarang²

¹*Program Studi Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar*

²*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*

Email: sittinormawati@poltekesmu.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Telah dilakukan analisis kontur isodosis menggunakan *software surfer type 21* di instalasi radiologi RSUD Labuang Baji Makassar guna menentukan jarak yang paling aman bagi tenaga medis radiologi pada saat berada di area pesawat sinar-X. Pengukuran dilaksanakan sebelum dan selama eksposur pada phantom air menggunakan pesawat sinar-X dengan surveymeter. Laju paparan radiasi diukur di 8 lokasi lintasan di ruangan pesawat sinar-X, terdiri dari 16 titik yang terletak di lintasan (A, B, C, D, E, F, G, H) pada ketinggian 1 m dan 1,5 m. Data yang diolah menunjukkan bahwa dosis paparan radiasi tertinggi terdapat di lintasan E-1 (di depan pesawat sinar-X), yaitu 0,001791 mSv dengan laju paparan dosis radiasi 43,320 mSv/jam untuk ketinggian 1 m dan 0,001228 mSv pada lintasan A-1 untuk ketinggian 1,5 m dengan laju paparan dosis radiasi 29,7997 mSv/jam. Kontur isodosis juga menunjukkan variasi pada jumlah lintasan dan warna yang berbeda untuk setiap nilai dosis paparan radiasi. Temuan dari penelitian ini menunjukkan bahwa dosis paparan radiasi adalah 0 mSv pada jarak lebih dari 2 m dari pesawat sinar-X, sehingga petugas radiologi berada dalam batas aman untuk melakukan prosedur radiodiagnostik.

Kata kunci: Dosis Radiasi, Kontur Isodosis, Laju Dosis, Software Surfer, Survey Meter.

Abstract

Isodosis contour analysis using surfer type 21 software has been conducted in the radiology installation of Labuang Baji Hospital Makassar to determine the safest distance for radiology medical personnel while in the X-ray aircraft area. Measurements were carried out before and during exposure to a water phantom using an X-ray aircraft with a surveymeter. Radiation exposure rates were measured at 8 track locations in the X-ray aircraft room, consisting of 16 points located on the track (A, B, C, D, E, F, G, H) at 1 m and 1.5 m heights. The processed data showed that the highest radiation exposure dose was in the E-1 track (in front of the X-ray plane), which was 0.001791 mSv with a radiation dose exposure rate of 43.320 mSv/hour for a height of 1 m and 0.001228 mSv in the A-1 track for a height of 1.5 m with a radiation dose exposure rate of 29.7997 mSv/hour. The isodose contours also show variations in the number of passes and different colors for each radiation exposure dose value. The findings of this study indicate that the radiation exposure dose is 0 mSv at a distance of more than 2 m from the X-ray plane, so the radiologist is within safe limits to perform radiodiagnostic procedures.

Keywords: Dose Rate, Isodose Contours, Radiation Dose, Surfer Software, Survey Meter.

1. PENDAHULUAN

Pemanfaatan radiasi pengion telah banyak dimanfaatkan dalam dunia kesehatan [1]. Radiasi pengion yang banyak digunakan saat ini adalah sinar-X sebagai sumber radiasi untuk mendiagnosis adanya suatu penyakit dalam bentuk gambaran anatomi tubuh manusia [2] kemudian ditampilkan dalam film radiografi [3]. Selain memberikan manfaat yang sangat besar bagi dunia kesehatan, radiasi sinar-X juga berpotensi memberikan efek merugikan [4], terutama bagi operator sinar-X dan pekerja radiasi lainnya. Proteksi radiasi merupakan aspek yang sangat penting dalam pengendalian efek merugikan. Oleh sebab itu, setiap instalasi radiologi harus memperhatikan proteksi radiasi [5].

Pada sektor kesehatan, pemanfaatan radiasi pengion seperti sinar-X sudah menjadi hal yang biasa, baik di radioterapi [6] maupun di radiodiagnostik [7]. Meskipun radiasi sinar-X memberikan keuntungan bagi bidang kesehatan, radiasi sinar-X juga berisiko menimbulkan dampak negatif bagi tenaga kerja yang terpapar, pasien, masyarakat, dan lingkungan jika digunakan secara berlebihan (IAEA No. 39, 2006) [8]. Dampak negatif yang dapat timbul akibat radiasi dapat diatasi dengan mengikuti prinsip dasar perlindungan radiasi dan keselamatan radiasi. Prinsip dasar perlindungan radiasi mencakup pengaturan jarak [9], perlindungan fisik [10], dan durasi paparan [11] yang bertujuan untuk membatasi jumlah radiasi yang diterima oleh tenaga kerja, pasien, maupun masyarakat. Sementara itu, keselamatan radiasi berkisar pada perlindungan tenaga kerja dan pasien dari efek stokastik [12] serta efek deterministik [13].

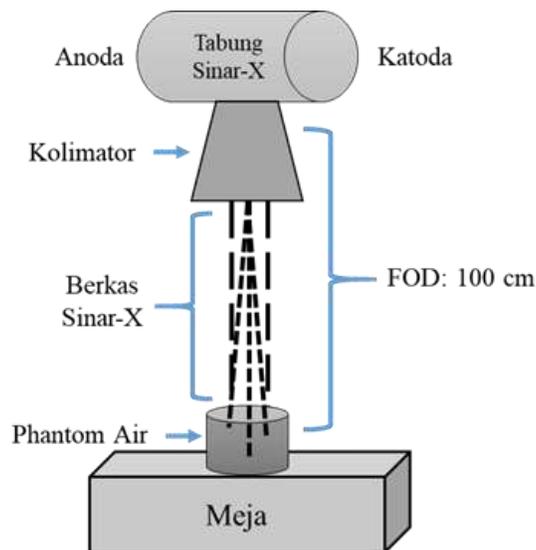
Pengendalian efek negatif yang ditimbulkan oleh paparan radiasi dapat dilakukan dengan memperhatikan proteksi radiasi. Menurut *International Commission on Radiological Protection* atau ICRP No.26 Tahun 1977 untuk mencapai tujuan proteksi radiasi salah satunya mengurangi dosis yang diterima khususnya bagi pekerja radiasi dan diperlukan prinsip dasar proteksi radiasi yaitu jarak, *shielding*, dan waktu [14]. Proteksi radiasi salah satu hal terpenting yang harus diperhatikan pada dinding (*shielding*) ruangan sinar-X. Kementerian kesehatan RI pada tahun 2008 menetapkan bahwa dinding ruangan harus terbuat dari Pb dengan ketebalan 2 mm atau Pb berupa batu bata merah dengan ketebalan 25 cm dan massa jenis $2,2 \text{ kg/cm}^3$ atau beton dengan ketebalan 20 cm, sehingga tingkat intensitas radiasi disekitar ruangan pesawat sinar-X tidak melampaui Nilai Batas Dosis (NBD) $1 \text{ } \mu\text{Sv/tahun}$ untuk masyarakat umum dan $20 \text{ } \mu\text{Sv/tahun}$ untuk pekerja radiasi.

Penggunaan sinar-X dalam ruang radiologi melibatkan staf radiologi dan pasien memiliki resiko. Oleh karena itu, diperlukan usaha yang berkesinambungan untuk menjalankan kegiatan keselamatan dan kesehatan kerja melalui langkah-langkah perlindungan radiasi dengan tujuan mengurangi tingkat paparan radiasi yang diterima oleh tenaga kerja radiasi serta pasien saat alat sinar-X tersebut digunakan. Dosis radiasi yang diterima berhubungan terbalik dengan kuadrat jarak antara suatu titik dan sumber radiasi [15]. Dengan demikian, salah satu metode untuk mengukur dosis paparan radiasi sinar-X saat penyinaran berlangsung adalah dengan memanfaatkan survey meter [16]. Selain itu, untuk menggambarkan pengaruh jarak terhadap dosis paparan radiasi, dapat digunakan kontur isodosis yang menunjukkan besaran dosis paparan radiasi sinar-X pada jarak-jarak tertentu [17].

Penelitian yang relevan tentang penggunaan aplikasi surfer untuk membuat kontur isodosis telah dilakukan Tulfala dan Kasman tahun 2020. Analisis kontur isodosis paparan radiasi sinar-X dilakukan di Instalasi Radiologi UPT Rumah Sakit Umum Daerah Madani Palu dengan dua kali pengukuran, yaitu data pertama pada ketinggian 1,113 m dan data kedua pada ketinggian 1,613 m [18]. Penelitian yang terkait juga telah dilaksanakan oleh Putra dan koleganya dengan analisis kontur isodosis radiasi pada pesawat sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas, dilakukan dua kali pengukuran. Pengukuran pertama dilakukan untuk tingkat radiasi ketika perangkat dipaparkan selama dua puluh detik, sementara pengukuran kedua dilakukan untuk tingkat paparan radiasi dua puluh detik setelah perangkat dipaparkan. Berdasarkan data pertama yang diperoleh dari gambar, tingkatan paparan radiasi tertinggi terdeteksi di ketinggian 1,5 meter, sementara tingkatan paparan radiasi yang lebih rendah ditemukan di ketinggian 1,0 meter dan 0,5 meter [19].

Resiko radiasi dapat dikurangi dengan perisai radiasi yang mampu menyerap radiasi sinar-X sehingga dapat memperkecil intensitas radiasi yang lolos dan mengurangi penerimaan radiasi oleh tubuh manusia [20]. Berdasarkan apa yang peneliti perhatikan tentang bagaimana rumah sakit menerapkan sistem manajemen resiko radiasi terhadap keselamatan pasien, petugas dan masyarakat umum dari bahaya radiasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebaran radiasi dan pemetaan isodosis radiasi di dalam ruangan unit pesawat sinar-X (*Digital Radiography X-Ray*) di instalasi Radiologi RSUD Labuang Baji Makassar.

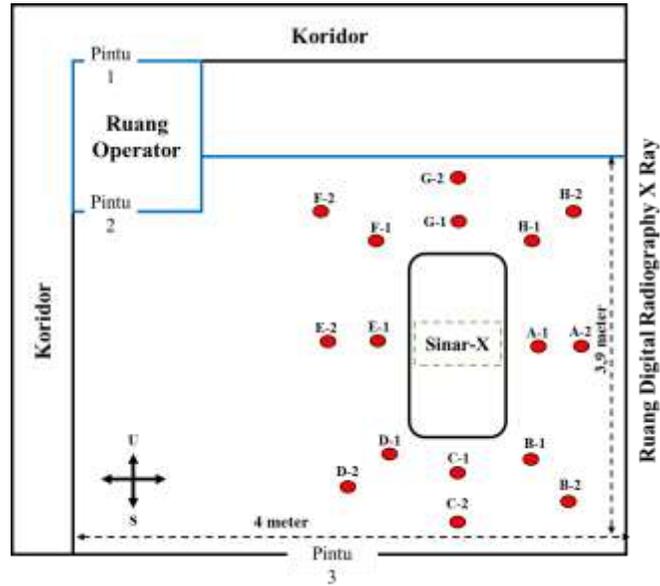
2. METODE PENELITIAN



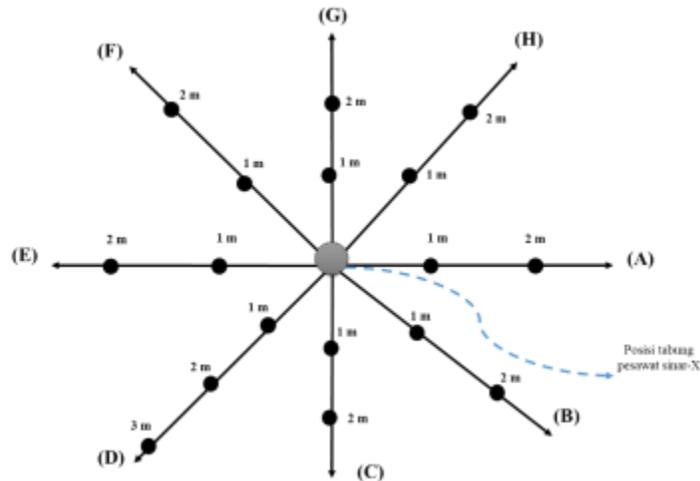
Gambar 1. Pengaturan *Focus Object Distance* (FOD) 100 cm.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *DR X Ray* (*Siemens Health Care GmbH, Henkestr.127*) sebagai sumber radiasi sinar-X, survey meter (*X2 Survey Sensor*:

Raysafe) sebagai detektor radiasi, phantom air (pengganti pasien), rak kayu untuk meletakkan surveymeter, meteran untuk mengukur jarak, dan *software surfer type 21* sebagai aplikasi dalam pembuatan kontur. Pengambilan data dimulai dengan mengatur posisi phantom dari kolimator dengan jarak 100 cm (FOD: *Focus Object Distance*) (Gambar 1).



Gambar 2. Denah ruang radiografi digital sinar-X dan titik-titik pengambilan data (merah).



Gambar 3. Skema pengukuran posisi titik pengukuran hamburan radiasi sinar-X.

Penentuan titik pengukuran dengan menggunakan 30 titik yang dibagi dalam 8 lintasan secara radial (Gambar 2). Jarak dari sumber radiasi sekunder ke surveymeter untuk lintasan A (1 dan 2) m, lintasan B (1 dan 2) m, lintasan C (1 dan 2) m, lintasan D (1, 2 dan 3) m, lintasan E (1 dan 2) m, lintasan F (1 dan 2) m lintasan G (1 dan 2) m, lintasan H (1 dan 2) m. Setiap lintasan dilakukan pengukuran di 2 titik ketinggian yang berbeda yaitu 1 m dan 1,5 m serta pengukuran di titik pusat sumber radiasi sekunder. Faktor eksposi tegangan tabung sebesar 90 kV, arus sebesar 200 mA, dan waktu penyinaran sebesar 0,08 s. Pengukuran laju paparan radiasi terukur pada setiap titik-titik pengukuran pada saat penyinaran. Setelah data laju paparan radiasi didapatkan, maka data tersebut dianalisis.

Laju dosis radiasi yang diperoleh dari pembacaan surveymeter, selanjutnya diproses dengan menggunakan persamaan 1 untuk menentukan nilai laju dosis radiasi yang sebenarnya (D_s) pada masing-masing lokasi pengukuran. Dalam hal ini, laju dosis radiasi yang sebenarnya dihitung dari selisih antara laju dosis radiasi yang terbaca pada surveymeter (D_u) dan radiasi latar (D_{Bg}), kemudian dikalikan dengan faktor bobot radiasi (F_k). Selanjutnya, mengukur tingkat paparan radiasi latar pada setiap titik pengukuran. Nilai (F_k) adalah 1 [21].

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

Laju dosis radiasi yang didapat dari pengolahan data, kemudian diproyeksikan dalam bentuk pemetaan kontur isodosis radiasi dengan memanfaatkan perangkat lunak *Surfer*. Proses ini dilakukan pada setiap ketinggian distribusi laju dosis radiasi saat pesawat sinar-X terpapar, sehingga dihasilkan 4 peta kontur isodosis radiasi dan laju dosis radiasi.

Penggunaan aplikasi *surfer* dengan cara menyiapkan data radiasi dalam format yang sesuai (biasanya file CSV atau TXT). Data harus mencakup koordinat (X dan Y) serta nilai radiasi. Menjalankan aplikasi *surfer* dengan mengklik start dan memilih *golden software*. Membuat data XYZ dengan memilih menu file kemudian new kemudian memilih *worksheet*, setelah itu mengklik OK. Menyimpan data XYZ dengan memilih menu file kemudian memilih save. Membuat file grid dan peta kontur [22].

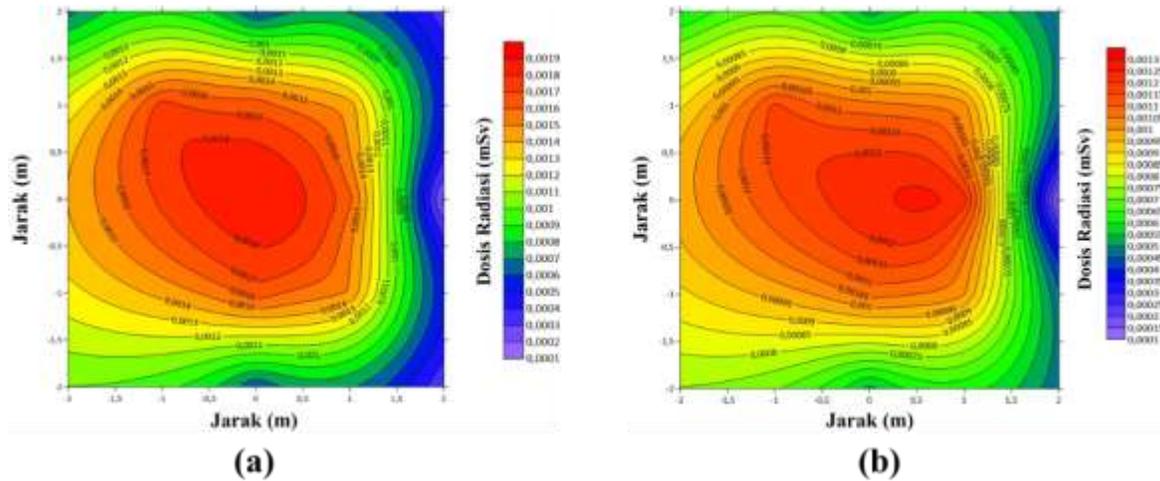
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengukuran dilaksanakan dengan menempatkan Surveymeter sesuai dengan urutan nomor yang telah ditentukan di lokasi yang diinginkan seperti terlihat pada Gambar 3. Surveymeter ditempatkan pada ketinggian yang setara dengan objek phantom. Penempatan Surveymeter tersebut disesuaikan dengan urutan nomor yang tertera. Hasil pengukuran tingkat paparan dari 8 lintasan dan 16 titik disajikan dalam tabel 1. Nilai dosis radiasi yang diterima telah dibuat dalam bentuk garis kontur isodosis yang diproses dengan menggunakan perangkat lunak *Surfer 21*. Garis kontur isodosis pada ketinggian 1 meter dan 1,5 meter dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.

Tabel 1. Nilai dosis paparan radiasi radiografi digital sinar-X pada ketinggian 1 m dan 1,5 m.

Lintasan Pengukuran	Ketinggian (m)					
	1			1,5		
	Jarak Pengukuran (m)	Dosis Terukur (mSv)	D _s , Dosis Sebenarnya (mSv)	Jarak Pengukuran (m)	Dosis Terukur (mSv)	D _s , Dosis Sebenarnya (mSv)
A-1	1	0,00163	0,001629	1	0,001229	0,001228
A-2	2	0,000161	0,000160	2	0,001001	0,001000
B-1	1	0,001489	0,001488	1	0,001005	0,001004
B-2	2	0,000309	0,000308	2	0,000463	0,000462
C-1	1	0,001659	0,001658	1	0,001069	0,001068
C-2	2	0,000611	0,000610	2	0,000532	0,000531
D-1	1	0,001735	0,001734	1	0,001156	0,001155
D-2	2	0,000619	0,000618	2	0,000562	0,000561
E-1	1	0,001792	0,001791	1	0,001194	0,001193
E-2	2	0,000625	0,000624	2	0,000582	0,000581
F-1	1	0,001741	0,001740	1	0,001162	0,001161
F-2	2	0,000668	0,000667	2	0,000592	0,000591
G-1	1	0,001657	0,001656	1	0,00107	0,001069
G-2	2	0,000592	0,000591	2	0,000518	0,000517
H-1	1	0,001448	0,001447	1	0,00102	0,001019
H-2	2	0,000334	0,000333	2	0,000449	0,000448
Radiasi Latar	0	0,000001		0	0,000001	

Pada delapan lintasan yang ada, tingkat dosis radiasi tertinggi untuk ketinggian survey meter 1 m terdeteksi pada titik E-1 sebesar 0,001791mSv, sedangkan pada pengukuran ketinggian survey meter 1,5 m pada titik A-1 sebesar 0,001228 mSv. Hal ini terjadi karena titik E-1 dan A-1 berada di depan tabung sinar-X, Dosis radiasi terendah pada lintasan titik A-2 untuk ketinggian 1 m berada di sisi kanan (katoda) tabung sinar-X dan ketinggian 1,5 m pada lintasan H-2 sebesar 0,000448 mSv. Selain itu, tidak adanya penghalang juga berkontribusi, sehingga radiasi sinar-X tidak diserap oleh apapun. Semakin dekat jarak ke sumber radiasi, semakin tinggi pula dosis paparan radiasi yang diterima. Hal ini disebabkan oleh adanya *heel effect*, yaitu sebuah fenomena di mana tingkat radiasi di sisi katoda lebih tinggi dibandingkan sisi anoda, namun intensitas maksimum berada di tengah sinar [23]. Perbedaan distribusi intensitas sinar-X yang tidak seimbang disebabkan oleh lebih banyaknya sinar-X yang dipantulkan ke arah katoda, sementara pada bagian anoda jumlahnya lebih sedikit karena anoda adalah sumber dari sinar-X [24].



Gambar 4. Kontur isodosis radiasi (a) Ketinggian 1 m dan (b) Ketinggian 1,5 m.

Perubahan nilai dosis radiasi yang menyebar terhadap perbedaan jarak dan ketinggian survey meter dengan lokasi pengukuran menurut data tabel di atas dapat dipresentasikan dalam bentuk grafik kurva isodosis, seperti yang tampak pada gambar 4. Pembuatan kurva isodosis bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi dengan dosis paparan tertinggi dan terendah pada setiap jarak [25]. Dengan kurva isodosis, petugas atau pekerja radiasi dapat mengenali area yang berisiko maupun yang aman dari bahaya radiasi. Hal ini memungkinkan pencegahan efek non stokastik [26] dan juga membatasi kemungkinan terjadinya efek stokastik [27].

Berdasarkan grafik kontur gambar 4, terlihat berbagai jumlah lintasan dan variasi warna pada setiap lintasan. Warna yang memiliki angka lebih rendah dan lintasan dengan jarak yang lebih jauh dari sumber radiasi sekunder menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pengukuran, dosis radiasi yang diterima akan semakin rendah. Sebaliknya, semakin dekat jarak pengukuran, dosis radiasi yang diterima akan semakin tinggi. Warna merah pada kedua kontur mengindikasikan wilayah dengan dosis radiasi tertinggi, berkisar antara 0,0001 hingga 0,0019 mSv, karena warna merah menunjukkan lokasi pusat dari sumber radiasi sekunder. Selanjutnya, untuk zona berwarna kuning dan hijau, wilayah ini lebih besar menuju lintasan E (arah barat) jika dibandingkan dengan lintasan yang lain. Hal ini disebabkan oleh posisi lintasan E yang berada di depan tabung sinar-X, di mana tidak terdapat penghalang, sehingga radiasi sinar X tidak diserap oleh apapun, sementara wilayah berwarna kuning dan hijau terlihat lebih kecil pada jalur A (arah timur). Penyebab dari kondisi ini adalah posisi jalur A yang berada di belakang tabung sinar-X yang terhalang oleh bodi atau tiang dari pesawat sinar-X. Ketika sinar tersebut melewati suatu bahan, akan terjadi pengurangan pada intensitas radiasi yang dipancarkan. Sesuai dengan bentuk yang ditunjukkan pada gambar 4 (a) dan gambar 4 (b), petugas di bidang radiologi berada dalam keadaan aman jika mereka menjaga jarak lebih dari 2 meter dari perangkat sinar-X, karena pada jarak tersebut dosis radiasi yang diterima tercatat sebesar 0 mSv.

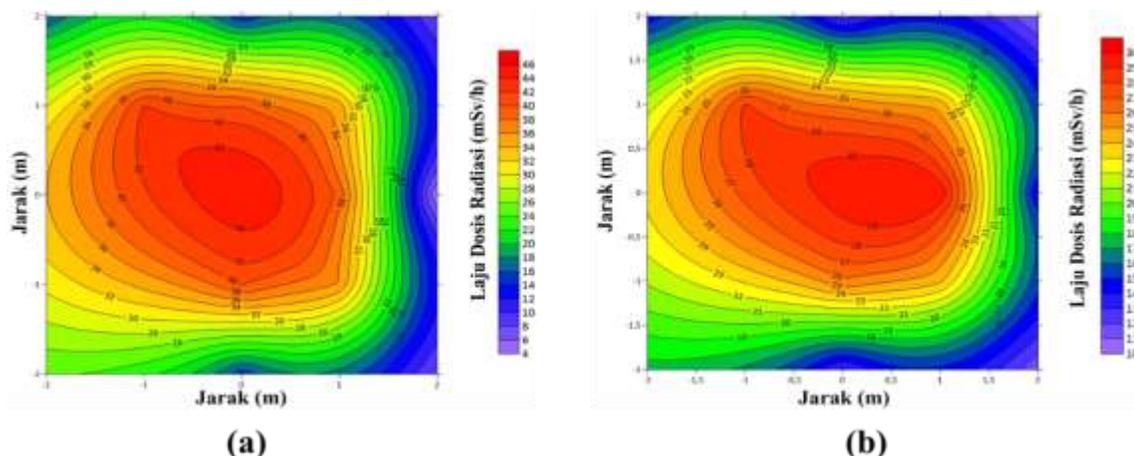
Tingkat radiasi pada setiap ketinggian direncanakan dalam kontur isodosis radiasi yang dapat diamati pada gambar 5 untuk laju dosis. Tabel 2 menunjukkan laju dosis radiasi

yang diserap oleh survey meter, dengan lintasan A – H pada titik pengukuran 1 – 18 dengan jarak yang digunakan adalah 1 meter dan 2 meter. Hasil yang terdapat pada tabel 2 tersebut terlihat juga nilai pengukuran laju dosis radiasi latar yang menunjukkan angka 0,0003 mSv/jam.

Tabel 2. Nilai laju dosis paparan radiasi digital radiografi sinar-X pada ketinggian 1 m dan 1,5 m.

Lintasan Pengukuran	Ketinggian (m)					
	1			1,5		
	Jarak Pengukuran (m)	Laju Dosis Terukur (mSv/jam)	D _L , Laju Dosis Sebenarnya (mSv/jam)	Jarak Pengukuran (m)	Laju Dosis Terukur (mSv/jam)	D _L , Laju Dosis Sebenarnya (mSv/jam)
A-1	1	39,31	39,310	1	29,8	29,7997
A-2	2	3,86	3,860	2	23,17	23,1697
B-1	1	35,77	35,770	1	24,2	24,1997
B-2	2	7,436	7,436	2	11,18	11,1797
C-1	1	40,11	40,110	1	25,83	25,8297
C-2	2	14,74	14,740	2	12,8	12,7997
D-1	1	41,64	41,640	1	28,04	28,0397
D-2	2	14,94	14,940	2	13,58	13,5797
E-1	1	43,32	43,320	1	28,82	28,8197
E-2	2	15,07	15,070	2	13,96	13,9597
F-1	1	42,11	42,110	1	28,14	28,1397
F-2	2	16,1	16,100	2	14,29	14,2897
G-1	1	39,88	39,880	1	25,82	25,8197
G-2	2	14,3	14,300	2	12,44	12,4397
H-1	1	34,91	34,910	1	24,53	24,5297
H-2	2	8,002	8,002	2	10,83	10,8297
Radiasi Latar	0	0,0003		0	0,0003	

Pada jarak 1 meter, nilai tertinggi yang tercatat adalah 43,320 mSv/jam untuk ketinggian 1 m posisi survey meter. Titik ini terletak 1 meter di atas titik tengah atau lintasan E-1, sementara nilai terendah pada jarak 1 meter dicatat di titik H-1 dengan nilai 34,910 mSv/jam. Titik ini berada di belakang tabung sinar-X. Sementara itu, pada jarak 2 meter untuk ketinggian 1 m alat survey meter laju dosis radiasi tertinggi terletak pada titik lintasan F-2 dengan nilai 16,100 mSv/jam, nilai terendah untuk jarak 2 m pada ketinggian 1 m ditemukan pada lintasan tertinggi ditemukan di titik A-1 dengan nilai laju dosis radiasi 3,860 mSv/jam yang terletak di belakang peralatan tabung sinar-X. Pada ketinggian 1,5 m terdapat nilai laju dosis yang berbeda. Jarak 1 m pada tingkat laju dosis radiasi tertinggi untuk lintasan A-1 dengan nilai 29,7997 mSv/jam, sedangkan laju dosis terendah pada lintasan H-1 dengan nilai 24,5297 mSv/jam. Jarak 2 m mempresentasikan nilai tertinggi untuk lintasan titik pengukuran A-2 dengan nilai laju dosis 23,1697 mSv/jam. Nilai terendah pada jarak 2 m untuk ketinggian 1,5 m adalah 10,8297 mSv/jam pada lintasan H-2.



Gambar 5. Kontur lajuan isodosis radiasi (a) Ketinggian 1 m dan (b) Ketinggian 1,5 m.

Berdasarkan kontur isodosis radiasi yang terlihat di gambar 5, dapat diketahui bahwa distribusi laju dosis radiasi tertinggi terjadi pada ketinggian 1 m, diikuti dengan laju dosis pada ketinggian 1,5 m. Dalam gambar 5, nampak ada dua titik dengan tingkat radiasi yang tinggi (ditandai dengan warna merah). Ini menunjukkan bahwa ketika terjadi paparan sinar-X, radiasi primer yang dihasilkan tidak hanya berasal dari berkas sinar-X yang keluar dari alat, tetapi juga dihasilkan dari tabung sinar-X itu sendiri.

Radiasi utama yang berasal dari tabung sinar-X bisa muncul akibat terjadinya kebocoran pada tabung itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3 dan 5, khususnya pada titik pengukuran E dan A yang terletak di sisi anoda. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa pada kedua titik E dan A di berbagai ketinggian, ada nilai laju dosis radiasi yang cukup tinggi. Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Tohiri pada tahun 2022 mengenai analisis kinerja generator dan tabung yang menunjukkan adanya kebocoran di tabung sinar-X [28]. Secara keseluruhan, tampak bahwa radiasi terdistribusi yang dihasilkan oleh berkas sinar-X saat mengenai fantom memiliki tingkat intensitas yang lebih rendah dibandingkan dengan radiasi yang dihasilkan dari tabung sinar-X. Hal ini mungkin mempengaruhi peta kontur isodosis radiasi yang mengukur area di depan tabung dengan tingkat radiasi yang tinggi, sehingga menciptakan gambaran di sekitarnya sebagai area dengan radiasi yang tinggi juga.

Sebaran laju dosis radiasi pada berbagai ketinggian menunjukkan keselarasan dengan posisi sumber utama dan kemungkinan arah penyebaran radiasi yang terhambur. Dalam gambar 5 (a), pengukuran di ketinggian 1 m menunjukkan laju dosis radiasi yang lebih tinggi dibandingkan titik lainnya, mengindikasikan bahwa dosis hamburan di lokasi ini lebih tinggi daripada lokasi lain. Sementara itu, gambar 5 (b) menunjukkan titik pengukuran yang berada di atas meja pasien. Terlihat bahwa radiasi hamburan lebih rendah mengarah ke atas dibandingkan dengan arah yang lain. Hasil peta kontur selama alat berfungsi mengindikasikan bahwa kontur di ketinggian 1,5 m lebih aman untuk dilalui oleh petugas dalam situasi darurat. Area di sekitar tabung kemungkinan mengandung radiasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan area lain. Penelitian yang dilakukan oleh Syahria tahun 2012 terkait pembuatan kurva isodosis paparan radiasi di ruang pemeriksaan instalasi radiologi

RSUD Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara menunjukkan nilai kurva isodosis yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan upaya proteksi radiasi (mengetahui jarak dan waktu yang paling aman) bagi pekerja radiasi [29]. Pemetaan kontur yang sudah dilakukan surfer terlihat lokasi-lokasi yang memiliki wilayah hamburan paling besar serta paling kecil. Dari hasil pengamatan, area kepala pasien baik itu di depan ataupun belakang tabung sinar-X (lintasan D dan F) memiliki nilai terbesar dengan rentang 120-60 Gy. Hal tersebut disebabkan karena dengan berada di depan dan belakang tabung akan semakin dekat dengan sumber radiasi. Hasil pengukuran yang ada dari kedelapan lintasan yang ada pada jarak 50 cm, 100 cm dan 150 cm didapatkan nilai paparan radiasi terbesar selalu berada pada depan tabung pesawat sinar-X (titik D1, D2 dan D3) berturut-turut dengan nilai 114,04 Gy; 58,52 Gy; 15,670 Gy [30].

4. SIMPULAN

Kontur isodosis dapat berfungsi sebagai dasar untuk melakukan langkah-langkah perlindungan radiasi (mengetahui jarak aman) bagi petugas radiologi di RSUD Labuang Baji Makassar. Terdapat beberapa lintasan dan warna yang menunjukkan bahwa semakin jauh jarak pengukuran, maka dosis radiasi yang diterima akan semakin berkurang. Sebaliknya, jika jarak pengukuran semakin dekat, maka dosis radiasi yang diterima akan semakin meningkat. Jarak yang dianggap aman bagi petugas radiologi menurut kontur isodosis adalah lebih dari 2 meter, di mana dosis radiasi yang diukur bernilai 0 mSv. Laju paparan radiasi untuk tegangan 90 kV, arus 200 mAs dan waktu penyinaran sebesar 0,08 s mencapai tingkat tertinggi 43,320 mSv/jam di lokasi E-1 pada ketinggian 1 m dan jarak 1 m dari tabung alat sinar-X. Pada ketinggian 1,5 m mencapai nilai kelajuan tertinggi pada titik lintasan A-1 dengan nilai 29,7997 mSv/jam. Bentuk kurva isodosis radiasi ketika pesawat sinar-X mengeluarkan paparan radiasi menunjukkan adanya dua sumber radiasi utama yang berasal dari tabung sinar-X dan berkas sinar-X yang diarahkan ke fantom. Diperlukan pemasangan shielding atau pelindung radiasi tambahan pada area lintasan E agar paparan dapat ditekan lebih lanjut.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. of M. Staff, K.-L. D. Gottfried, and G. Penn, *Radiation in Medicine: A Need for Regulatory Reform*. Washington: National Academies Press, 1996.
- [2] K. S. Da Poça, "Use of Ionizing Radiation in the Health Sector," *BJSTR*, vol. 29, no. 5, Sep. 2020, doi: 10.26717/BJSTR.2020.29.004876.
- [3] T. Shelkovenko, S. Pikuz, and D. Hammer, "X-Pinches as Broadband Sources of X-Rays for Radiography," *JBise*, vol. 08, no. 11, pp. 747–755, 2015, doi: 10.4236/jbise.2015.811071.
- [4] J. R. Parikh *et al.*, "Potential Radiation-Related Effects on Radiologists," *American Journal of Roentgenology*, vol. 208, no. 3, pp. 595–602, Mar. 2017, doi: 10.2214/AJR.16.17212.
- [5] J. Simanjuntak, A. Camelia, and I. G. Purba, "Penerapan Keselamatan Radiasi Pada Instalasi Radiologi Di Rumah Sakit Khusus (RSK) Paru Provinsi Sumatera Selatan

- Tahun 2013,” *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, vol.04, no.03, pp. 245-253, Nov.2013, <https://ejournal.fkm.unsri.ac.id/index.php/jikm/article/view/300>.
- [6] D. Y. Breitzkreutz, M. D. Weil, and M. Bazalova-Carter, “External beam radiation therapy with kilovoltage X-rays,” *Physica Medica*, vol. 79, pp. 103–112, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ejmp.2020.11.001.
- [7] A. Allan, “X-ray Imaging Advancements and Applications in Medical Diagnosis,” 2023, 28-June-2023, 15(5).112 -114. DOI: 10.37532/1755-5191.2023.
- [8] IAEA (*International Atomic Energy Agency*), “International Nuclear Security Advisory Service (INSServ) Guidelines,” VIENNA, 2019.
- [9] J. H. Kim, “Three principles for radiation safety: time, distance, and shielding,” *Korean J Pain*, vol. 31, no. 3, pp. 145–146, Jul. 2018, doi: 10.3344/kjp.2018.31.3.145.
- [10] S. S. Alshowiman, “Principles of Radiation Protection for Patients and Medical Staff,” *BJSTR*, vol. 54, no. 2, Dec. 2023, doi: 10.26717/BJSTR.2023.54.008520.
- [11] W. Dian Kusuma, S. Rurie Ratna, and G. Rellyca Sola, “Radiation Protection Efforts in Restricting Exposure to Scattered Radiation Based on Room Analysis,” *Int J Radiol Imaging Technol*, vol. 8, no. 2, Dec. 2022, doi: 10.23937/2572-3235.1510097.
- [12] S. Choudhary, “Deterministic and Stochastic Effects of Radiation,” *CTOIJ*, vol. 12, no. 2, Oct. 2018, doi: 10.19080/CTOIJ.2018.12.555834.
- [13] J. Sabol and B. Šesták, “Quantification Of The Risk-Reflecting Stochastic and Deterministic Radiation Effects,” in *RAD Conference Proceedings*, RAD Association, 2017. doi: 10.21175/RadProc.2017.22.
- [14] S. Park, M. Kim, and J. H. Kim, “Radiation safety for pain physicians: principles and recommendations,” *Korean J Pain*, vol. 35, no. 2, pp. 129–139, Apr. 2022, doi: 10.3344/kjp.2022.35.2.129.
- [15] L. Brateman, “The AAPM/RSNA Physics Tutorial for Residents”, *Imaging and Therapeutic Technology*, vol.09, no.4, pp.1037-1055, March 2019. <https://www.researchgate.net/publication/331717578>
- [16] K. Yamamoto *et al.*, “Basic Performance Evaluation of a Radiation Survey Meter That Uses a Plastic-Scintillation Sensor,” *Sensors*, vol. 24, no. 10, p. 2973, May 2024, doi: 10.3390/s24102973.
- [17] P. Purwantiningsih, “Analisis Sebaran Dosis Paparan Radiasi Pesawat C-Arm Terhadap Jarak Pada Ruang Operasi,” *SAINTEK*, vol. 9, no. 2, p. 183, Dec. 2018, doi: 10.31958/js.v9i2.1152.
- [18] 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, Jun. 2020, doi: 10.22487/gravitasi.v19i1.15105.
- [19] M. I. H. Putra, R. Adrial, and A. O. S, “Analisis Kontur Isodosis Radiasi pada Pesawat Sinar-X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas,” *JFU*, vol. 12, no. 2, pp. 329–334, Apr. 2023, doi: 10.25077/jfu.12.2.328-333.2023.
- [20] M. Alipio, E. P. Somontan, P. E. Reyes, and G. M. Lantajo, “Development of an X-ray Shielding Material Based on Eggshells and Crab Shells,” 2022.

- [21] N. P. Dewi, N. L. P. Trisnawati, and M. Iffah, "Laju Paparan Radiasi Sinar-X pada Dinding Laboratorium Diagnostik ATRO Bali," *BF*, vol. 24, no. 1, p. 49, Nov. 2021, doi: 10.24843/BF.2023.v24.i01.p07.
- [22] Y. A. Noya, S. R. Loupatty, G. D. Manuputty, and E. S. Ratuluhain, "Pelatihan Pembuatan Peta Kontur Tiga Dimensi Dengan Menggunakan Program Surfer," *JHI*, vol. 3, no. 2, pp. 86–93, Oct. 2023, doi: 10.55984/hirono.v3i2.141.
- [23] S. Rosidah and F. Felayani, "Effect Of Heel Effect Anode On Image Homogeneity Based On X-Ray Collimation Light Beam Area," vol. 13, no. 01, 2022.
- [24] S. Prabhu, D. K. Naveen, S. Bangera, and B. Subrahmanya Bhat, "Production of X-RAYS using X-RAY Tube," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 1712, no. 1, p. 012036, Dec. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1712/1/012036.
- [25] S. F. Kry *et al.*, "AAPM TG 158: Measurement and calculation of doses outside the treated volume from external-beam radiation therapy," *Medical Physics*, vol. 44, no. 10, Oct. 2017, doi: 10.1002/mp.12462.
- [26] O. Desouky, N. Ding, and G. Zhou, "Targeted and non-targeted effects of ionizing radiation," *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, vol. 8, no. 2, pp. 247–254, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.jrras.2015.03.003.
- [27] N. Hamada and Y. Fujimichi, "Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects," *Journal of Radiation Research*, vol. 55, no. 4, pp. 629–640, Jul. 2014, doi: 10.1093/jrr/rru019.
- [28] N. Tohiri and A. Muttaqin, "Uji Kesesuaian Kinerja Generator dan Tabung Pesawat Sinar-X Merek Siemens di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Universitas Andalas," *JFU*, vol. 11, no. 1, pp. 37–43, Feb. 2022, doi: 10.25077/jfu.11.1.37-43.2022.
- [29] E. Setiawati, "Pembuatan Kurva Isodosis Paparan Radiasi di Ruang Pemeriksaan Instalasi Radiologi RSUD Kabupaten Kolaka - Sulawesi Tenggara," vol. 15, no. 4.
- [30] R. Anggarini, M. Muslim, and A. Mutanto, "Analisis Sebaran Radiasi Hambur Di Sekitar Pesawat Sinar-X Pada Pemeriksaan Tomografi Ginjal," *JIG*, vol. 17, no. 2, p. 63, Mar. 2019, doi: 10.47313/jig.v17i2.540.