

# Program Komputer Berbasis Delphi untuk Analisis Perhitungan Persebaran Dosis Radiasi Pesawat Sinar-X dalam Bentuk Kurva Isodosi

Anggrata Adzdzantyan<sup>1</sup>, Mondjo<sup>2</sup>, Probo Waseso<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Jurusan Teknik Fisika FT UGM  
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

<sup>1</sup>anggrata@ugm.ac.id

<sup>2</sup>mondjo@ugm.ac.id

<sup>2</sup> Instalasi Radiologi RSUP dr. Sardjito Yogyakarta  
Jln. Kesehatan No. 1, Sekip Yogyakarta, INDONESIA

<sup>3</sup>probowaseso@yahoo.com

**Intisari**— Pada instalasi radiasi seperti instalasi radiologi, aspek keselamatan pekerja radiasi harus diperhatikan. Setiap pekerja radiasi harus mengenali medan tempatnya melakukan pekerjaannya dengan tersedianya informasi yang jelas mengenai tingkat radiasi, terlebih radiasi sekunder. Bentuk informasi medan radiasi tersebut divisualisasikan dalam bentuk kurva isodosi. Analisis persebaran dan besarnya dosis radiasi sekunder di sekitar pesawat sinar-X dilakukan dengan adanya visualisasi informasi tersebut. Pembuatan program komputer sebagai alat bantu peraga bertujuan untuk mempermudah melakukan analisis kurva isodosi. Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran laju dosis radiasi sekunder menggunakan *phantom* air sebagai media penghambur pada sudut hambur 90° dengan tabung pesawat sinar-X diarahkan ke bawah tegak lurus meja pasien pada 7 arah sudut di sekeliling *phantom* air, di setiap arahnya divariasikan 3 jarak titik pengambilan. Selanjutnya data yang sudah terkumpul akan diolah dengan menghitung laju dosis di setiap sudutnya, kemudian menghubungkan laju dosis yang sama antar sudut dan menghitung laju dosis pada titik-titik tertentu. Berdasarkan tahapan tersebut selanjutnya dibuat program komputer berbasis Delphi. Pengujian dilakukan dengan analisa data hasil perhitungan laju dosis radiasi menggunakan program dibandingkan dengan pengukuran sebenarnya. Hasil pengujian program tersebut didapat selisih laju dosis menggunakan perhitungan program dengan pengukuran berkisar pada rentang 10,830-32,050% dan selisih rerata sebesar 17,334%.

**Kata kunci**— Radiodiagnostik, keselamatan pekerja radiasi, laju dosis radiasi sekunder, kurva isodosi.

**Abstract**— In the radiation installation such as radiologic installation, the safety of radiation workers must be a concern. Every worker has to identify their workplace radiation by gaining specific information about radiation level, especially secondary radiation. The specific information about radiation can be visualized in isodose curve. The distribution and amount of X-Ray secondary radiation can be analyzed. The development of computer program can be helpful to provide easier isodose curve analysis. In this research, a secondary dose rate radiation has been measured using water phantom as a scattering material at 90 degrees of scattering angle and the X-Ray tube directed downwards to patient table perpendicularly in 7 directed points around water phantom. In each direction, a range of data collection points have been varied in 3 levels. Then, a collected data will be processed by calculating the distribution of dose rate at each direction, and then connects the same dose rate inter-direction, and finally calculates the dose rate in current position. Based on these steps, a computer program was created based on Delphi language. Testing an isodose curve program was performed by comparing the dose rate obtained from the program and the measurements. The results of the test indicates that the difference of the dose rate ranges from 10.830-32.050 % with mean difference of approximately 17.334%.

**Keywords**— Radiologic, radiation worker safety, secondary radiation dose rate, isodose curve

## I. PENDAHULUAN

Aspek keselamatan radiasi pada instalasi radiasi berhubungan erat dengan sistem proteksinya. Pada instalasi radiasi seperti instalasi radiologi, aspek proteksi pekerja radiasi harus diperhatikan. Sebagai contoh, pada instalasi radiologi terdapat radiografer. Sebagai seorang pekerja radiasi, radiografer diharapkan mampu memahami tempat kerjanya dan mengaplikasikan falsafah dasar proteksi radiasi untuk mengurangi penerimaan dosis radiasi selama menjalankan tugasnya [1].

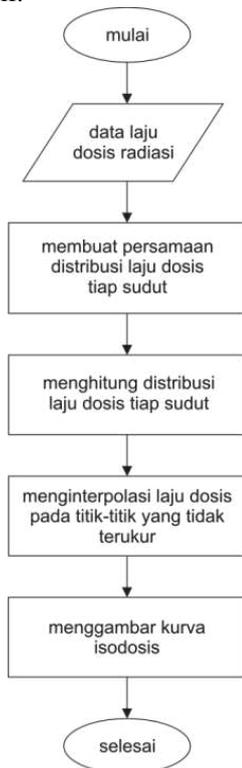
Agar setiap pekerja mampu mengenali medan tempatnya melakukan pekerjaan, informasi mengenai tingkat radiasi pada daerah kerjanya harus menjadi perhatian. Pada setiap wilayah kerja radiasi, dibutuhkan suatu informasi mengenai tingkat radiasi untuk mengetahui batas aman selama bekerja. Bentuk informasi tingkat radiasi ini selain dapat diketahui dengan menggunakan perangkat deteksi radiasi, juga dapat diketahui berdasarkan analisis kurva isodosi persebaran dosis radiasi di sekitar pesawat sinar-X. Secara khusus, analisis kurva isodosi dapat memberikan informasi mengenai sejauh mana dosis radiasi dapat mengenai petugas atau pasien yang berada dalam ruang pesawat sinar-X dalam jarak tertentu. Kurva isodosi

pada setiap ruangan pemeriksaan sangat membantu petugas pekerja radiasi dalam menjalankan pesawat sinar-X dengan menentukan batas jarak aman dari radiasi [2].

Penelitian ini akan lebih ditujukan untuk membuat program simulator persebaran dosis radiasi dari pesawat sinar X. Dengan adanya program ini, diharapkan pekerja radiasi akan lebih mudah menghitung dan mengetahui persebaran dosis radiasi (kurva isodosis) di sekitar pesawat sinar-X. Simulasi program akan menampilkan dan menghitung persebaran dosis radiasi atau kurva isodosis di sekitar pesawat sinar- X. Sebagai langkah validasi program simulator tersebut, penulis juga melakukan pengukuran langsung di salah satu instalasi pesawat sinar X yang terdapat di RSUP dr. Sardjito. Beberapa pengukuran serupa [3,4,5,6,7] yang pernah dilakukan juga dijadikan sebagai referensi pembandingan dalam tahap validasi tersebut. Keberhasilan program simulator ini akan bermanfaat bagi pekerja radiasi dalam membatasi penerimaannya selama menjalankan tugas dengan tidak mengabaikan keselamatan diri sesuai dengan prinsip-prinsip proteksi radiasi.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum, terdapat 2 tahapan besar dalam pembuatan Program Kurva Isodosis ini, yaitu tahapan menggambar kurva isodosis yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan tahapan menggunakan kurva isodosis yang ditunjukkan pada Gambar 2. Algoritma tersebut menjadi dasar untuk Program Kurva Isodosis yang dibuat berbasis Delphi, sebuah bahasa pemrograman yang mempunyai kelebihan dalam tampilan visual yang interaktif.



Gambar 1. Diagram alir program menggambar kurva isodosis.



Gambar 2. Diagram alir program menggunakan kurva isodosis.

Adapun proses perhitungan yang terdapat dalam Program Kurva Isodosis ini sesuai dengan teori perhitungan laju dosis yang akan dijelaskan secara lebih rinci pada bagian pengolahan dan analisis data.

### A. Pembuatan Program

Program dibuat dengan menggunakan aplikasi Delphi 2010. Delphi 2010 adalah suatu kompiler atau penerjemah bahasa Delphi (awalnya dari Pascal) yang merupakan bahasa tingkat tinggi sekelas dengan Basic, C. Bahasa Pemrograman Delphi disebut bahasa prosedural artinya bahasa atau sintaknya mengikuti urutan tertentu aturan prosedur. Delphi disebut juga *visual programming* artinya komponen-komponen yang ada tidak hanya berupa teks (yang sebenarnya program kecil) tetapi muncul berupa gambar-gambar [8]. Penggunaan Delphi 2010 didasari pertimbangan kemudahan dalam membuat *user interface*. Selain itu, bahasa pemrogramannya restruktur dan mudah dipahami.

### B. Validasi Program Kurva Isodosis

Validasi Program Kurva Isodosis dilakukan dengan membandingkan laju dosis yang didapat dari hasil perhitungan menggunakan Program Kurva Isodosis dengan laju dosis yang didapat dari hasil pengukuran. Parameter masukan pada Program Kurva Isodosis disamakan dengan parameter saat melakukan pengukuran. Kemudian, akan didapat nilai laju dosis yang berasal dari pengukuran dan nilai laju dosis yang didapat dari hasil perhitungan Program Kurva Isodosis. Dari nilai laju dosis yang didapat akan dihitung seberapa besar nilai *error* yang dihasilkan antara nilai laju dosis hasil perhitungan program dengan nilai laju dosis hasil.

Data yang digunakan sebagai pembandingan dalam tahap validasi menggunakan data primer yang diperoleh dari pengukuran langsung yaitu pengambilan data laju dosis radiasi sekunder dilakukan di Bagian Instalasi Radiologi Rumah Sakit Umum Pusat (RSUP) dr. Sardjito Yogyakarta, di Ruang Pemeriksaan IV.

Adapun perangkat fisik yang digunakan dalam pengukuran langsung ini meliputi pesawat Radiografi sinar-X bertipe *Digital Radiography*, yang berasal dari pabrikan *Villa Medica*, sebuah laptop, Piranha dan Piranha Dose Probe R100 yaitu seperangkat peralatan *electric medical* dengan dilengkapi dengan *ionization chamber* dan atau *semiconductor detectors*. Perangkat detektor tersebut digunakan untuk mengambil data laju dosis radiasi sekunder dari pesawat sinar-X. Selain perangkat tersebut, diperlukan juga kaca transparan berbentuk kubus dengan ukuran 20 x 20 x 25 cm sebagai wadah *phantom* air pengganti tubuh manusia.

Selain perangkat fisik, diperlukan juga perangkat lunak yang berkaitan dengan sistem detektor yang digunakan. Perangkat lunak untuk Piranha adalah OCEAN yang digunakan sebagai penerima dan pengolah data yang berasal dari detektor Piranha Dose Probe R100 untuk mendapatkan data laju dosis radiasi. OCEAN merupakan *software* pendukung bagi Piranha Dose Probe R100 yang sudah disertakan dalam paket Piranha dan Piranha Dose Probe.

Tata laksana pengukuran laju dosis pada penelitian ini mengacu pada dokumen petunjuk teknis kontrol kualitas dari dinas kesehatan [9] pada dasarnya dibagi menjadi 2 tahapan. Pertama dilakukan pengambilan dan pengumpulan data-data laju dosis radiasi. Kedua, dilakukan pengolahan data dan analisis data.

### C. Pengambilan Data Laju Dosis Radiasi

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur laju dosis radiasi sekunder atau hamburan. Sebuah *phantom* air yang terbuat dari kaca disiapkan sebagai pengganti tubuh manusia yang akan diekspos menggunakan pesawat radiografi sinar-X. Air digunakan sebagai *phantom* karena densitas air dianggap sama dengan densitas tubuh manusia, karena sekitar 80 % tubuh manusia terbesar terdiri atas air dan sisanya adalah mineral lainnya.

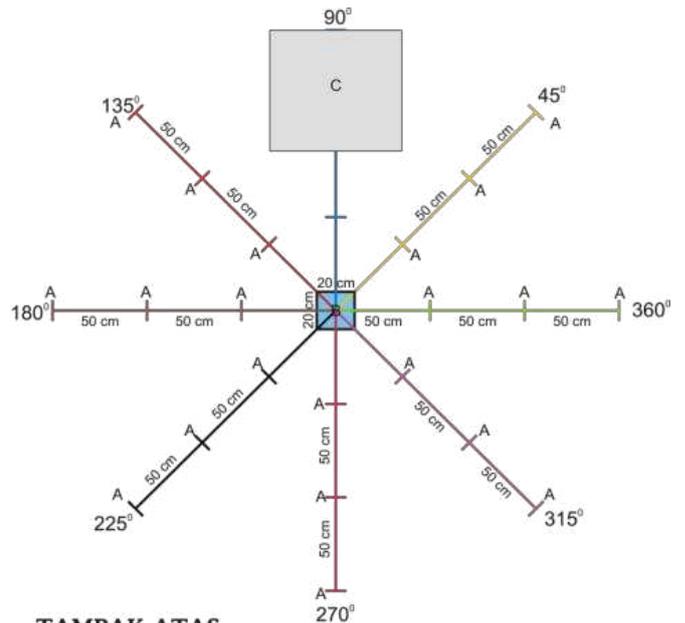
Pengukuran laju dosis radiasi sekunder dilakukan dengan 3 variasi. Pertama dilakukan variasi nilai faktor eksposi (kV dan mAs). Variasi tegangan (kV) dan arus dikali waktu (mAs) dilakukan pada nilai-nilai faktor eksposi yang sering digunakan oleh pekerja radiasi dalam hal ini adalah seorang radiografer.

Kemudian, variasi kedua adalah dengan memvariasikan jarak *probe* detektor terhadap objek yang diekspos, dalam hal ini adalah *phantom* air. Jarak *probe* detektor dan pusat *phantom* air yang digunakan divariasikan pada jarak 50 cm, 100 cm dan 150 cm.

Dan variasi yang ketiga adalah variasi dari level ketinggian *phantom* air yang digunakan. Level ketinggian air yang digunakan adalah pada jarak 10 cm, 15 cm dan 23 cm. Ketinggian 10 cm diasumsikan digunakan untuk mengekspos bagian tubuh manusia yang memiliki ketebalan relatif kecil. Sedangkan untuk ketinggian 15 cm diasumsikan digunakan untuk bagian tubuh manusia yang memiliki ketebalan tubuh sedang. Untuk tebal 23 cm diasumsikan digunakan pada bagian-bagian tubuh yang memiliki ketebalan relatif tebal.

Penempatan *probe* detektor untuk mengukur laju dosis sekunder atau hamburan dari *phantom* air yang digunakan terletak di sekitar *phantom* air. Dalam penelitian ini diambil 8 arah

sudut hambur dari *phantom* air penghambur yaitu 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315° dan 360° seperti pada Gambar 3. Sudut-sudut inilah yang akan digunakan untuk menggambar kurva isodosis dan bisa disebut sudut kurva isodosis. Namun pada sudut 90°, tidak dapat dilakukan pengambilan data karena terhalang oleh keberadaan pesawat sinar-X. Sudut 0° atau 360° dijadikan sebagai sudut nol referensi baik pada pengukuran maupun penggunaan program nantinya. Sudut nol referensi berada pada kutub katoda dari pesawat sinar-X. Posisi penempatan *probe* detektor apabila dilihat dari tampak atas seperti pada Gambar 3. apabila tampak atas (a) dan apabila tampak samping (b).



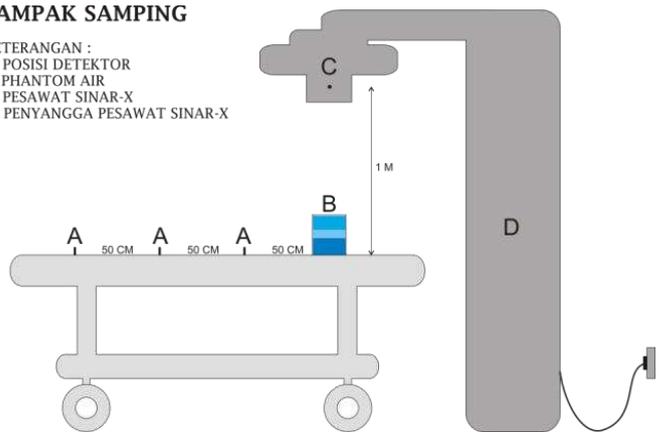
TAMPAK ATAS

KETERANGAN :  
 A. TITIK PENGAMBILAN DATA LAJU DOSIS RADIASI  
 B. PHANTOM AIR  
 C. PENYANGGA PESAWAT SINAR-X

(a)

TAMPAK SAMPING

KETERANGAN :  
 A. POSISI DETEKTOR  
 B. PHANTOM AIR  
 C. PESAWAT SINAR-X  
 D. PENYANGGA PESAWAT SINAR-X



(b)

Gambar 3. (a). Peta pengambilan data laju dosis radiasi hambur. (b). Setting pengukuran laju dosis radiasi hambur

D. Pengolahan dan Analisis Data

1) Membuat persamaan garis dan menghitung distribusi laju dosis di setiap sudut.

Pada saat proses pengambilan data, dari 7 sudut yang telah ditetapkan untuk dilakukan pengukuran, setiap sudutnya diambil 3 data laju dosis radiasi berdasarkan variabel jarak yang ditentukan. Untuk menghitung distribusi laju dosis di sudut tertentu digunakan teori berkas radiasi hambur [10]:

$$\dot{X} = WaK_{sg} \frac{F}{400} \frac{1}{d_{sca}^2} \frac{1}{d_{sec}^2} \tag{1}$$

Perhitungan laju dosis radiasi sekunder di luar perisai radiasi bisa menggunakan Persamaan (1). Apabila nilai beban kerja sumber radiasi (W), luas lapangan radiasi (F) dan rasio radiasi hamburan terhadap paparan ( $\alpha$ ) dianggap nilai suatu konstanta, sedangkan jarak titik pusat target dengan detektor ( $d_{sec}$ ) divariasikan dan nilai  $K_{s,g} = 1$ , karena tidak menggunakan perisai radiasi dalam pengaplikasiannya, maka persamaan di atas akan menjadi persamaan berikut:

$$\dot{X}_r = C \frac{1}{d_r^2} \tag{2}$$

Sifat berkas radiasi sekunder juga berlaku sifat kuadrat jarak terbalik pada Persamaan (2). Dianalogikan pada titik pusat target dari berkas radiasi primer dijadikan sebagai sumber radiasi yang baru yang berbentuk sumber radiasi titik. Sinar-X hamburan dari materi target dapat menyebar ke segala arah dan besarnya dosis di titik tertentu bisa diketahui dengan menggunakan azas kuadrat jarak terbalik, yaitu laju dosis atau paparan radiasi akan berbanding lurus dengan per jarak kuadratnya (*Inverse Square Law*) [10].

$$\frac{I_1}{d_1^2} = \frac{I_2}{d_2^2} \tag{3}$$

Kemudian dilakukan regresi linier antara laju dosis radiasi dengan sepejar kuadrat untuk membuat persamaan berkas radiasi hambur seperti Persamaan (2) yang berlaku pada sudut tersebut. Dari regresi linier didapatkan nilai konstanta (C) yang akan digunakan untuk menghitung distribusi laju dosis pada berbagai jarak tiap satu sudut. Nilai konstanta pada setiap sudut bisa memiliki nilai yang berbeda bisa juga memiliki nilai yang sama. Bentuk Persamaan (2) inilah yang akan digunakan untuk menghitung distribusi laju dosis radiasi pada jarak 10-150 cm dengan interval 10 cm di setiap sudut pengambilan data.

2) Menghitung laju dosis pada titik-titik yang tidak diukur.

Untuk membuat kurva isodosi lebih nyata, maka dihitung beberapa titik di luar titik-titik yang telah ditetapkan dalam pengukuran. Titik-titik yang tidak diukur tersebut terletak tepat diantara sudut kurva isodosi yaitu 22,5°, 157,5°, 202,5°, 247,5°, 292,5° dan 337,5°.

Untuk menghitung laju dosis pada sudut letak titik tersebut dilakukan dengan menghitung rata-rata data laju dosis radiasi kedua sudut kurva isodosi pembentuknya. Menghitung rata-rata laju dosis dilakukan karena apabila dilakukan interpolasi tepat di tengah 2 titik, maka hasilnya sama dengan menghitung rata-rata nilai di kedua titik tersebut. Sehingga, titik-titik yang tidak terukur tersebut juga memiliki data nilai laju dosis radiasi.

3) Menggambar kurva isodosi

Kurva isodosi menggambarkan nilai laju dosis yang sama dari tiap sudut atau daerah. Data distribusi laju dosis tiap sudut yang telah dihitung akan ditempatkan pada posisinya masing-masing karena sudah diketahui jarak posisi dengan titik pusat phantom sebagai titik pusat medium penghambur. Selanjutnya menentukan nilai laju dosis radiasi yang akan digambarkan sebagai kurva isodosi. Dengan menggunakan persamaan 4, dapat ditentukan posisi atau jarak dari nilai laju dosis yang akan digambar di setiap sudutnya.

$$d_r = \sqrt{\frac{C}{\dot{X}_r}} \tag{4}$$

4) Menghitung laju dosis radiasi pada titik-titik tertentu.

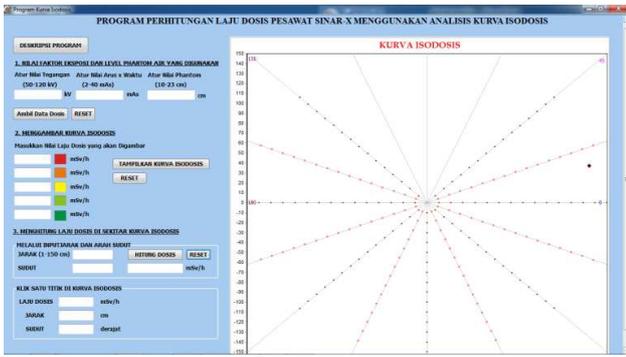
Untuk menghitung laju dosis radiasi pada suatu titik sembarang, bisa menggunakan analisis kurva isodosi. Titik yang akan dihitung laju dosis pada kurva isodosi mempunyai posisi atau jarak tertentu dari titik pusat phantom penghambur dan sudut tertentu dari sudut nol referensi. Posisi dan sudut inilah yang akan digunakan untuk menghitung laju dosis radiasi. Sudut yang dibentuk titik yang dicari dengan sudut nol referensi apabila tepat berada pada sudut kurva isodosi, bisa langsung menggunakan persamaan berkas radiasi sekunder pada sudut tersebut. Namun apabila sudut yang dibentuk titik yang dicari dengan sudut nol referensi tidak berada pada sudut kurva isodosi, maka dilakukan interpolasi sudut untuk mendapatkan laju dosis radiasi. Interpolasi laju dosis dilakukan dengan menggunakan jarak yang sama pada kedua sudut yang berbeda. Jadi untuk menghitung laju dosis radiasi di titik sembarang, dilakukan interpolasi nilai laju dosis radiasi 2 titik pada jarak yang sama dari 2 sudut kurva isodosi yang mengapitnya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran laju dosis radiasi sekunder merupakan *database* dalam pembuatan program. Jumlah keseluruhan data pengukuran sejumlah 4032 data, yang didapat dari variasi nilai tegangan sebanyak 8 variasi, variasi nilai arus dikalikan waktu sebanyak 8 variasi, tebal *phantom* sebanyak 3 variasi, jumlah sudut yang diukur sebanyak 7 sudut dan titik pengambilan laju dosis sekunder pada 3 jarak yang telah ditentukan.

A. Tampilan Program

Hasil dari penelitian analisis perhitungan untuk mengetahui persebaran dosis radiasi pesawat sinar-X dalam bentuk kurva isodosi adalah Program Kurva Isodosi yang dapat digunakan sebagai alat bantu analisis.



Gambar 4. Tampilan program.

### B. Perbandingan Perhitungan Program Kurva Isodosis dengan Hasil Pengukuran.

Apabila menggunakan teori distribusi normal, jika sebuah fenomena distribusi normal kira-kira terdapat 68,27% dari nilai pengukuran bernilai benar, maka batasan nilai benar tersebut adalah nilai pengukuran  $\pm 1$  standar deviasinya.

Pada pengambilan data ke-1 didapat nilai rerata dari pengukuran sebesar  $4,830 \pm 0,983$  mSv/h dengan rentang mulai dari 3,847 mSv/h sampai 5,813 mSv/h. Pada perhitungan menggunakan program kurva isodosis didapat laju dosis radiasi sebesar 4,307 mSv/h. Jadi perhitungan program apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran nilainya masih berada pada interval hasil pengukuran.

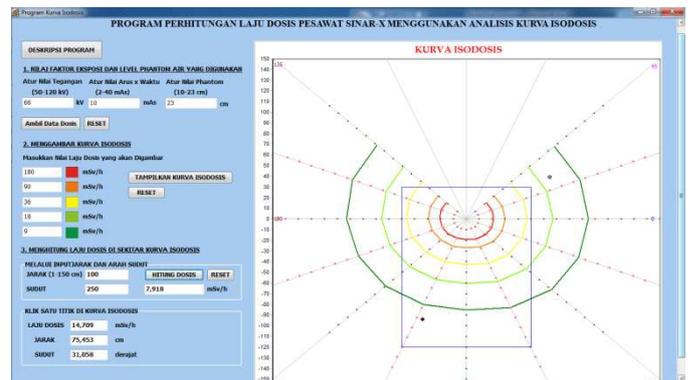
Pada pengambilan data ke-2 didapat nilai rerata dari pengukuran sebesar  $3,548 \pm 0,842$  mSv/h dengan rentang mulai dari 2,705 mSv/h sampai 4,390 mSv/h. Pada perhitungan menggunakan program kurva isodosis didapat laju dosis radiasi sebesar 3,938 mSv/h. Jadi perhitungan program apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran nilainya masih berada pada interval hasil pengukuran.

Pada pengambilan data ke-3 didapat nilai rerata dari pengukuran sebesar  $6,608 \pm 1,150$  mSv/h dengan rentang mulai dari 5,458 mSv/h sampai 7,757 mSv/h. Pada perhitungan menggunakan program kurva isodosis didapat laju dosis radiasi sebesar 5,811 mSv/h. Jadi perhitungan program apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran ke-1, 2 dan 3 nilainya masih berada pada interval hasil pengukuran.

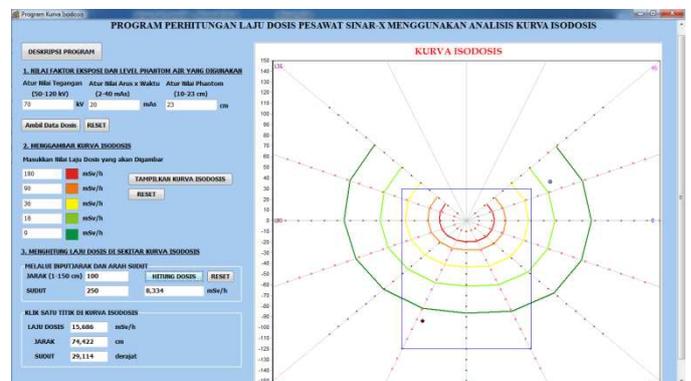
Penyimpangan yang cukup signifikan terjadi pada pengambilan data ke-4. Berdasarkan data, nilai rerata dari pengukuran sebesar  $13,114 \pm 1,620$  mSv/h dengan rentang mulai dari 11,494 mSv/h sampai 14,734 mSv/h. Pada perhitungan menggunakan program kurva isodosis didapat laju dosis radiasi sebesar 8,911 mSv/h. Begitu juga pada pengambilan data ke-5 didapat nilai rerata dari pengukuran sebesar  $16,905 \pm 1,839$  mSv/h dengan rentang mulai dari 15,066 mSv/h sampai 18,743 mSv/h. Pada perhitungan menggunakan program kurva isodosis didapat laju dosis radiasi sebesar 13,401 mSv/h. Oleh karena itu perlu digarisbawahi, perhitungan program dibanding dengan hasil pengukuran ke-4 dan 5 nilainya berada di luar interval hasil pengukuran.

### C. Running Program dengan Beberapa Konfigurasi Penyinaran

Pada Gambar 5 untuk konfigurasi *thorax*, pengguna memasukkan nilai tegangan sebesar 66 kV, arus dikalikan waktu 10 mAs dan menggunakan *phantom* dengan ketinggian 23 cm. Untuk menggambar kurva isodosis, pengguna memasukkan 5 nilai laju dosis yang berbeda yaitu 180, 90, 36, 18, dan 9 mSv/h. Untuk menghitung laju dosis di sekitar kurva isodosis, pengguna memasukkan jarak 100 cm dengan sudut  $250^\circ$ . Posisi tersebut ditandai dengan tanda berwarna coklat berbentuk *diamond*. Pada posisi tersebut, dapat diketahui besarnya nilai laju dosis sebesar 7,918 mSv/h. Begitu juga ketika, pengguna mengklik salah satu titik di kurva isodosis dengan ditandai tanda berwarna biru berbentuk lingkaran kecil, program akan menghitung laju dosis di posisi tersebut sebesar 14,709 mSv/h pada jarak 75,453 cm dan sudut  $31,058^\circ$ .



Gambar 5. Tampilan program untuk konfigurasi penyinaran *thorax*.

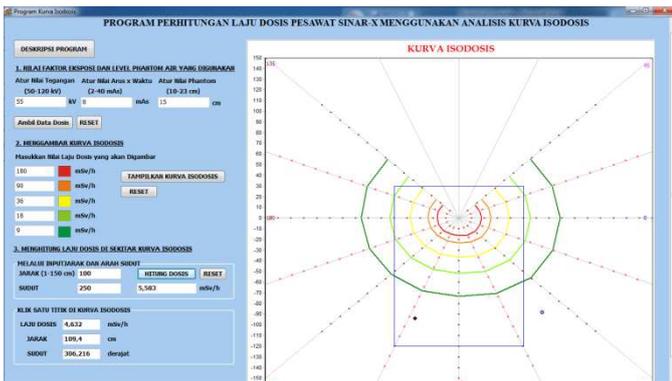


Gambar 6. Tampilan program untuk konfigurasi penyinaran *abdomen*.

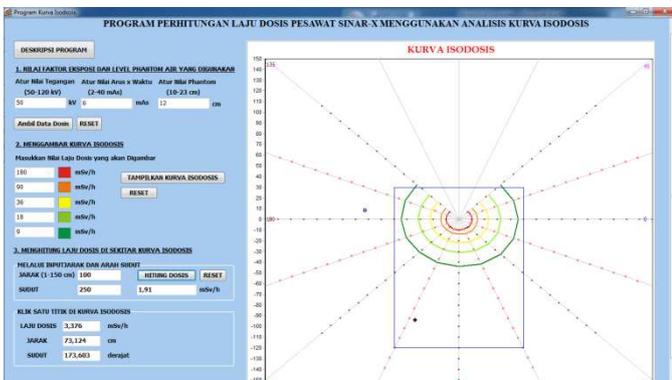
Begitu juga untuk konfigurasi penyinaran *abdomen* (Gambar 6), pengguna memasukkan nilai tegangan sebesar 70 kV, arus dikalikan waktu 20 mAs dan menggunakan *phantom* dengan ketinggian 23 cm. Untuk menggambar kurva isodosis, pengguna memasukkan 5 nilai laju dosis yang berbeda seperti konfigurasi di atas. Untuk menghitung laju dosis di sekitar kurva isodosis, pengguna menginputkan jarak 100 cm dengan sudut  $250^\circ$  dan dapat diketahui besarnya nilai laju dosis sebesar 8,334 mSv/h. Begitu juga ketika, pengguna mengklik salah satu

titik di kurva isodosi, program akan menghitung laju dosis di posisi tersebut sebesar 15,686 mSv/h pada jarak 74,422 cm dan sudut 29,114°.

Seperti halnya juga untuk konfigurasi penyinaran femur (Gambar 7), pengguna memasukkan nilai tegangan sebesar 55 kV, arus dikalikan waktu 8 mAs dan menggunakan phantom dengan ketinggian 15 cm. Untuk menggambar kurva isodosi, pengguna memasukkan 5 nilai laju dosis yang berbeda seperti konfigurasi di atas. Untuk menghitung laju dosis di sekitar kurva isodosi, pengguna memasukkan jarak 100 cm dengan sudut 250° dan diketahui besarnya nilai laju dosis sebesar 5,583 mSv/h. Begitu juga ketika, pengguna meng-klik salah satu titik di kurva isodosi, program akan menghitung laju dosis di posisi tersebut sebesar 4,632 mSv/h pada jarak 109,4 cm dan sudut 306,216°.



Gambar 7. Tampilan program untuk konfigurasi penyinaran femur.



Gambar 8. Tampilan program untuk konfigurasi penyinaran tangan bagian lengan atas.

Sama juga untuk konfigurasi penyinaran tangan bagian lengan atas (Gambar 8), pengguna memasukkan nilai tegangan sebesar 55 kV, arus dikalikan waktu 6 mAs dan menggunakan phantom dengan ketinggian 12 cm. Untuk menggambar kurva isodosi, pengguna memasukkan 5 nilai laju dosis yang berbeda seperti konfigurasi di atas. Untuk menghitung laju dosis di sekitar kurva isodosi, pengguna memasukkan jarak 100 cm dengan sudut 250° dan dapat diketahui besarnya nilai laju dosis sebesar 1,91 mSv/h. Begitu juga ketika, pengguna meng-klik salah satu titik di kurva isodosi, program akan menghitung laju

dosis di posisi tersebut sebesar 3,376 mSv/h pada jarak 73,124 cm dan sudut 173,603°.

#### D. Perbandingan Perhitungan Program Kurva Isodosi dengan Hasil Pengukuran.

Dari hasil perhitungan Program Kurva Isodosi dan pengukuran 5 sampel random dapat diketahui selisih reratanya sebesar 17,334%. Selisih terkecil perhitungan program dan pengukuran adalah 10,830% dan selisih terbesar adalah 32,050%. Semua parameter antara perhitungan menggunakan Program Kurva Isodosi dan pengukuran sudah disamakan nilainya.

Penyebab adanya perbedaan antara hasil perhitungan program dengan hasil pengukuran kemungkinan besar dikarenakan pada saat melakukan pengukuran nilai laju dosis untuk membuat database program hanya dilakukan pengukuran tunggal. Pengukuran tunggal dilakukan karena efisiensi waktu dalam penelitian, mengingat jenis variasi pengambilan data yang cukup banyak.

Pada saat pengukuran nilai laju dosis untuk membuat database program, dimungkinkan terjadi banyak error pengukuran. Database program memuat nilai laju dosis pada berbagai variasi variabel yang digunakan. Variabel yang dimaksud adalah variasi nilai faktor eksposi (tegangan kV dan arus dikalikan waktu mAs), variasi tebal atau level ketinggian phantom air yang digunakan, variasi jarak penempatan detektor dan variasi sudut pengambilan data. Karena variasi variabel yang digunakan banyak, untuk setiap 1 data dengan konfigurasi 1 variasi di setiap variabel di atas, biasanya hanya dilakukan pengambilan data hanya satu kali saja. Pengambilan 1 data konfigurasi dilakukan satu kali tanpa dilakukan perulangan untuk mendapatkan nilai yang mendekati nilai laju dosis sebenarnya. Pengambilan data yang hanya dilakukan sekali, dapat dipastikan error data yang diambil sangat besar, yaitu sebesar  $\pm \sqrt{\text{nilai pengukuran}}$ .

Hal tersebut dilakukan hanya untuk melakukan efisiensi baik waktu maupun penggunaan alat terhadap pengukuran. Dikarenakan variasi variabel dan data yang akan diambil banyak, maka dilakukan efisiensi waktu dan penggunaan peralatan. Untuk menyingkat waktu penelitian, maka setiap 1 pengambilan data hanya dilakukan 1 kali pengambilan tanpa melakukan pengulangan.

Selain itu, penyebab yang lain dikarenakan energi sinar-X yang digunakan tergolong energi rendah. Di dalam penelitian ini, digunakan faktor eksposi terutama tegangan tabung (kV) yang tergolong kecil yaitu dari rentang 50 – 120 kV. Nilai tegangan tabung akan mempengaruhi energi dari sinar-X yang diemisikan dan kemampuan sinar-X untuk menembus jaringan. Apabila nilai tegangan semakin besar, maka semakin banyak sinar-X yang diemisikan yang memiliki energi yang lebih besar dan kemampuan menembus jaringan juga semakin besar. Sehingga karena energi dari sinar-X semakin besar, maka efek hamburan Compton dan radiasi hambur yang merupakan prinsip interaksi radiasi dengan materi akan semakin besar interaksinya. Akan tetapi, karena energi yang digunakan tergolong energi rendah, maka kemampuan sinar-X untuk

berinteraksi radiasi dengan materi sangat kecil terutama hamburan Compton dan radiasi hambur. Jadi nilai laju dosis radiasi hambur yang terukur akurasi cenderung kecil, sehingga bisa menyebabkan *error* pengukuran yang dihasilkan cukup besar.

Penyebab tersebut, sebenarnya pada awal dan akhir penelitian, sudah dicoba untuk diantisipasi. Antisipasi dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan uji kesesuaian pesawat sinar-X dan memeriksa izin kalibrasi penggunaan detektor. Uji kelayakan pesawat sinar-X biasa dikenal dengan uji kesesuaian pesawat sinar-X. Dari uji kesesuaian tersebut, pesawat sinar-X yang digunakan dinyatakan lulus uji kesesuaian tersebut. Standar nilai uji kesesuaian tersebut didasarkan pada keputusan dan peraturan BAPETEN. Apabila pesawat sinar-X tidak lulus dari uji kesesuaian tersebut, maka pesawat sinar-X tidak dapat dioperasikan. Jadi karena hasil uji kesesuaian pesawat sinar-X menyatakan lulus uji untuk pesawat sinar-X yang digunakan maka penelitian dapat dilakukan.

#### IV. PENUTUP

Setelah melakukan analisis kurva isodosi dengan menggambar kurva isodosi dan menghitung laju dosis radiasi di sekitar kurva isodosi dengan bantuan program komputer sebagai alat peraga dapat ditarik kesimpulan bahwa kurva isodosi laju dosis radiasi sekunder di pesawat sinar-X memberikan hasil serta gambaran yang sesuai dengan yang diharapkan. Perhitungan laju dosis menggunakan Program Kurva Isodosi dengan 5 sampel random menunjukkan bahwa perhitungan laju dosis menggunakan program ini dapat dilakukan dengan selisih antara nilai hasil simulasi dan nilai hasil pengukuran berkisar pada rentang 10,830 – 32,050 %.

Penelitian selanjutnya diharapkan berupa pengembangan yaitu penambahan jumlah variasi jarak yang digunakan, jumlah sudut yang diambil data laju dosis radiasi sekundernya dan variasi ketebalan *phantom* air yang digunakan. Akan lebih baik lagi jika ditambahkan fasilitas untuk menganalisis laju dosis

radiasi sekunder yang mampu menembus dinding ruang kontrol pekerja radiasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keselamatan kerja pekerja radiasi di balik dinding ruang kontrol dari bahaya radiasi hambur pesawat sinar-X.

Sebagai gambaran ke depan, program ini dapat dikembangkan untuk dapat memberikan analisis laju dosis radiasi sekunder untuk berbagai jenis dan ukuran ruangan radiodagnostik yang ada, termasuk analisis keselamatan radiasi dari masyarakat umum yang ada di sekitar ruangan radiodagnostik.

#### REFERENSI

- [1] D. Maryanto, Solichan, Z. Abidin, "Analisis Keselamatan Kerja Radiasi Pesawat Sinar X di Unit Radiologi RSU Kota Yogyakarta," *Proc. Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir*, p. 679 – 690.
- [2] Syahria, E. Setiawati, K.S. Firdausi, "Pembuatan Kurva Isodosi Paparan Radiasi di Ruang Pemeriksaan Instalasi Radiologi RSUD Kabupaten Kolaka Sulawesi Tenggara," *Berkala Fisika*, vol. 15, pp. 123 – 132, 2012.
- [3] Khairunnisa, "Analisis Laju Dosis Hamburan Sinar-X di Sub Unit Radiodagnostik RSUP. Dr. Sardjito Yogyakarta," Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2001.
- [4] D. Isnendianti, "Pemetaan Dosis Radiasi di Ruang 3 Radiodagnostik RSUP. dr. Sardjito," Laporan Kerja Praktek, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2007.
- [5] M. Z. Hudaya, "Pembuatan Kurva Isodosi pada Ruangan Pesawat Sinar X di RSU PKU Muhammadiyah Yogyakarta," Laporan Kerja Praktek, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2008.
- [6] A.B. Sugiratu, "Analisis Dosis Radiasi untuk Aplikasi Ruang ICU," Skripsi, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2012.
- [7] Rudi, Pratiwi, Susilo, "Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar X di Instalasi Radiodagnostik untuk Proteksi Radiasi," *Unnes Physics Journal*, vol.1, pp 19 – 24, 2012.
- [8] Teddy Marcus Zakaria (2013), Pemrograman Delphi untuk Pemula: IDE dan Struktur Pemrograman. [Online]: <http://www.mdp.ac.id/materi/2011-2012-1/SI303/022040/SI303-022040-744-1.pdf>
- [9] *Quality Control Radiography*, Instalasi Proteksi Radiasi dan Uji Kepatuhan Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya, 2008.
- [10] S.C. Bushong, *Radiologic Science for Technologist: Physics, Biology, and Protection*, St. Louis, U.S.: Mosby, Inc., 2001.