

Analisis kurva isodosi paparan radiasi pada ruang terapi dengan *Linear Accelerator (LINAC) 6MV*

Ana Aprilia¹⁾, Eko Hidayanto¹⁾, Evi Setiawati¹⁾ dan Sanggam Ramantisan²⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾Rumah Sakit Ken Saras, Ungaran

E-mail korespondensi: anaapriliah@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai paparan radiasi di ruang terapi dengan LINAC 6MV. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui paparan radiasi di dalam ruang terapi untuk memberikan informasi kepada pekerja radiasi mengenai daerah aman di dalam ruang terapi melalui penyajian kurva isodosi dan kontur pemetaan paparan radiasi di dalam ruang terapi. Hasil dari pengukuran paparan radiasi ini juga selanjutnya digunakan untuk menghitung dosis radiasi yang diterima oleh pasien selama menjalani terapi sebagai informasi. Penelitian ini dilakukan di Rumah Sakit Ken Saras. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengukuran secara langsung paparan radiasi di ruang terapi menggunakan survey meter dengan ketinggian 130 cm dari lantai pada beberapa titik dengan penambahan jarak tiap 1 meter, luas lapangan 40 cm x 40 cm, dosis serap 50 MU dan variasi posisi gantry 0°, gantry 90° dan gantry 270°. Nilai hasil pengukuran yang didapat kemudian dibuat kontur menggunakan software dan dianalisis dimana letak posisi aman bagi pekerja radiasi melalui perhitungan matematis. Nilai paparan radiasi pada luas lapangan 40 cm x 40 cm kemudian dikonversikan menjadi nilai paparan radiasi dengan luas lapangan 10 cm x 10 cm pada contoh studi kasus pada pasien X dengan mengalikan dengan nilai *invers square*. nilai hasil konversi ini selanjutnya dihitung menjadi dosis radiasi yang diterima pasien X selama menjalani terapi. Hasil penelitian menunjukkan pada posisi gantry 0° dan gantry 270° letak aman ruang terapi bagi pekerja radiasi terletak pada posisi (-5,5;-4) dengan laju dosis 7,2 $\mu\text{Sv/h}$ dan 9,6 $\mu\text{Sv/h}$ sedangkan pada posisi gantry 90° tidak ada daerah aman untuk pekerja radiasi di dalam ruang terapi. Besar paparan radiasi yang diterima oleh pasien X pada penelitian ini untuk menjalani sekali terapi dengan 4 kali penyinaran pada 4 variasi posisi gantry dengan dosis 50 MU dengan luas lapangan 10 cm x 10 cm dan adalah 1.196,9502 μSv atau 1,197 mSv.

Kata kunci : paparan radiasi, ruang terapi, kurva isodosi, daerah aman, dosis radiasi pasien

ABSTRACT

Radiation exposure in the therapy room with linac 6 MV devices has been conducted at Ken Saras hospital. The purpose of this research was to determine the radiation exposure in the therapy room to provide the information for radiation workers regarding the safe location in therapy room using isodose curve presentation and contour mapping of radiation exposure in the therapy room. The results of radiation exposure measurement were then used to calculate the radiation dose received by patients during therapy as patient information. The method used in this research was the direct measurement of radiation exposure in therapy room using survey meter with 130 cm height from the floor at some point with the addition of each 1 meter, field size is 40 cm x 40 cm, absorbed dose is 50 MU and variations of the gantry position, gantry 0°, gantry 90° and gantry 270°. The result of the measurement then used to create a contour using a software and then analysed to point the safe location through a mathematical calculation. The Values of radiation exposure in field size of 40 cm x 40 cm then converted to the value of radiation exposure in field size of 10 cm x 10 cm on a sample study case patient X by multiplying with the value of the inverse square. The converted value is then calculated into the radiation dose received by patients X during therapy. The results showed that the gantry 0° and gantry 270° position, the safe location in therapy room for radiation worker is at the position (-5.5; -4) with a dose rate of 7.2 $\mu\text{Sv/h}$ and 9.6 $\mu\text{Sv/h}$ while at gantry 90° position there is no safe area for radiation workers in the therapy room. The value of exposure radiation that received by the patient X in this research, that undergo once therapy with 4 times exposure at 4 variation gantry position at dose of 50 MU with 10 cm x 10 cm field size is 1196.9502 μSv or 1.197 mSv.

Keywords: radiation exposure, therapy rooms, isodose curve, safe area, patient radiation dose

PENDAHULUAN

Penggunaan radiasi pengion di bidang kesehatan salah satunya untuk terapi penyakit kanker dengan radiasi berkas eksternal telah sejak lama digunakan. Namun selain memberikan manfaat yang lebih penggunaan radiasi berkas eksternal untuk terapi penyakit kanker juga dapat menimbulkan efek radiasi seperti efek stokastik dan efek deterministik.

Efek interaksi radiasi dengan sistem biologi sebagai dosimeter biologi dapat menyebabkan kerusakan pada sistem biologi akibat dari proses ionisasi dan atau sebagai respon proses perbaikan atau regenerasi sel. Metode yang digunakan dalam meninjau efek radiasi pengion ini adalah metode analisis aberasi kromosom dalam limfosit darah perifer [1].

Penelitian ini akan dilakukan analisis mengenai paparan radiasi hambur yang berada di ruangan instalasi radioterapi yang menggunakan *linear accelerator* (LINAC) berdasarkan faktor jarak dan posisi *gantry* 0^0 , *gantry* 90^0 dan *gantry* 270^0 . Dari analisis ini akan dihasilkan data berupa paparan radiasi yang berada di ruang terapi unit radioterapi dan kurva isodosis ruang terapi. Data paparan radiasi dan kurva isodosis ruang terapi berguna untuk memberikan informasi bagi para pekerja mengenai daerah aman dan besar paparan radiasi ruang terapi saat LINAC dioperasikan, dan informasi kepada pasien mengenai paparan radiasi di ruang terapi saat mereka menjalani terapi.

Nilai Batas Dosis (NBD) yang ditetapkan oleh BAPETEN adalah 20 mSv atau 2.000 mrem per tahun untuk penyinaran seluruh tubuh bagi pekerja radiasi dan 5 mSv atau 500 mrem per tahun untuk penyinaran seluruh tubuh bagi anggota masyarakat [2].

DASAR TEORI

Proteksi Radiasi Eksterna

Faktor waktu

Besar dosis radiasi atau besar paparan radiasi yang diterima oleh seorang individu

berbanding lurus dengan lamanya paparan dengan sumber radiasi tersebut.

$$D_t = \dot{D}_0 t \quad (1)$$

D_t adalah Dosis yang di terima (mrem), \dot{D}_0 adalah Laju dosis mula-mula (mrem/jam), t adalah waktu paparan (jam)[3].

Faktor jarak

Paparan radiasi berkurang dengan bertambahnya jarak dari sumber radiasi. Pada faktor jarak berlaku hukum kuadrat terbalik. Hal ini secara eksak hanya berlaku untuk sumber radiasi berbentuk titik, detektor berbentuk titik dan jika absorpsi radiasi antara sumber dan detektor dapat diabaikan.

$$D_r = \frac{K}{R^2} \quad (2)$$

D_r adalah dosis yang diterima (mrem), R adalah jarak dari sumber radiasi (m), K adalah tetapan yang bergantung pada sumber [3].

Faktor pelindung radiasi sinar-X

Intensitas radiasi gamma dan sinar-X yang melalui pelindung dapat dituliskan melalui persamaan

$$I = I_0 e^{-\mu d} \quad (3)$$

I adalah intensitas radiasi setelah melewati pelindung (cpm), I_0 adalah intensitas radiasi sebelum melewati pelindung (cpm), μ adalah koefisien pelemahan atau atenuasi (m^{-1}), d adalah ketebalan pelindung (m)[4].

Linear Accelerator (LINAC)

Linear accelerator (LINAC) merupakan perangkat pemercepat partikel bermuatan seperti elektron yang mempunyai energi tinggi melalui tabung linier dengan menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi.

Energi yang dihasilkan oleh LINAC masuk dalam kategori energi tinggi. LINAC dapat digunakan dalam radioterapi untuk mengobati berbagai penyakit kanker, baik kanker dangkal ataupun kanker yang letaknya jauh di dalam organ seperti kanker paru-paru tergantung dari besar energi yang digunakan.

Elektron dihasilkan oleh tabung triode yang disebut *electron gun*, kemudian elektron ini ditembakkan dengan energi awal 15 KeV secara sinkron dengan perubahan amplitudo gelombang mikro dan secara kolektif memasuki tabung pemercepat.

Berkas elektron yang telah dipercepat didefleksikan menuju isosenter lapangan penyinaran dengan menggunakan medan magnet sistem pembelok berkas akromatik. Setelah mengalami pembelokan, elektron-elektron energi tinggi dapat digunakan secara langsung. Bila yang dikehendaki adalah sinar X, maka elektron-elektron berenergi tinggi tersebut ditumbukkan ke bidang target penerus (*transmission target*)[5].

METODE PENELITIAN

Waktu dan tempat pengambilan data

Pengambilan data dilakukan pada bulan November 2015 sampai dengan Februari 2016 di unit Radioterapi Rumah Sakit Ken Saras Ungaran.

Alat dan Bahan

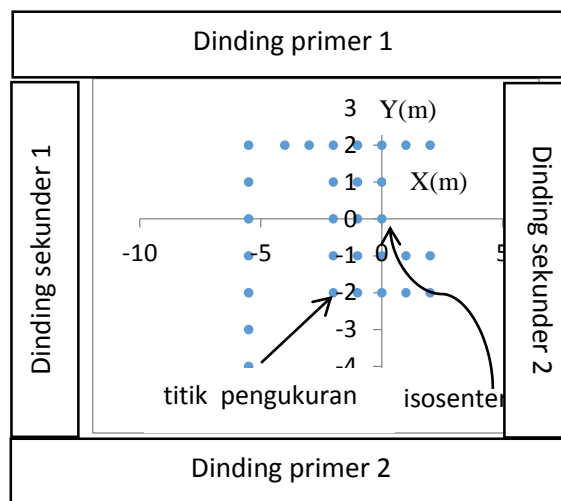
Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah survey meter untuk mengukur paparan radiasi di dalam ruangan yang diletakkan pada meja penyangga. Meteran untuk mengukur tiap titik pengukuran dengan penambahan jarak setiap 1 m dari titik isosenter. Personal komputer dan *software surfer* untuk mengolah data dan membuat kurva isodosis ruangan. Alat yang digunakan adalah radiasi pengion berupa sinar-X yang dihasilkan dari *Linear Accelerator*.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini secara garis besar dilakukan dengan 4 tahap. Tahap pertama menentukan titik pengukuran pada ruang terapi dengan menentukan jarak, tahap kedua melakukan pengukuran paparan radiasi ruang terapi menggunakan survey meter pada titik yang telah ditentukan dan pengulangan dengan perubahan

posisi *gantry*, tahap ketiga pembuatan kurva isodosis dan perhitungan paparan radiasi untuk menentukan daerah aman bagi pekerja radiasi, tahap keempat perhitungan dosis radiasi pasien.

Titik pengukuran paparan radiasi ruang terapi ditunjukkan pada gambar 1.

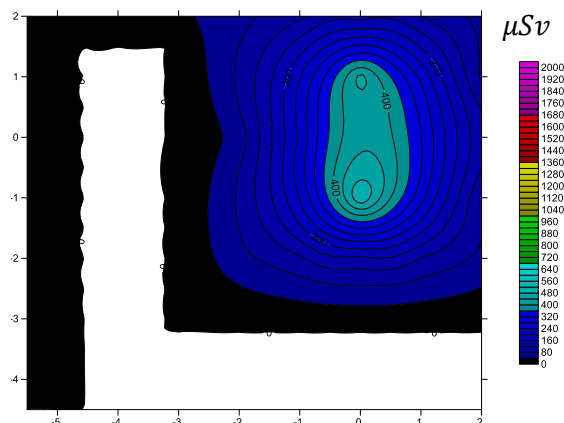


Gambar 1. Letak titik pengukuran paparan radiasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Radiasi Posisi *Gantry* 0°

Hasil kurva isodosis pada posisi *gantry* 0° dari pengukuran ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva isodosis paparan radiasi ruang terapi posisi *gantry* 0°

Kontur pada gambar 2 menunjukkan garis yang berhubungan sebagai kurva isodosis atau garis yang menghubungkan besar paparan radiasi yang sama. Paparan radiasi terbesar pada daerah didekat isosenter pada jarak 0 meter sampai 1 meter pada titik (0,1) dan titik (0,-1) dengan rentang yang terukur $360 \mu Sv$ sampai $680 \mu Sv$ dan paparan radiasi terkecil pada daerah *maze* karena telah terhalang oleh dinding sekunder 1. Hasil kontur paparan radiasi pada posisi *gantry* 0^0 menunjukkan bahwa besar paparan radiasi melemah seiring dengan bertambahnya jarak.

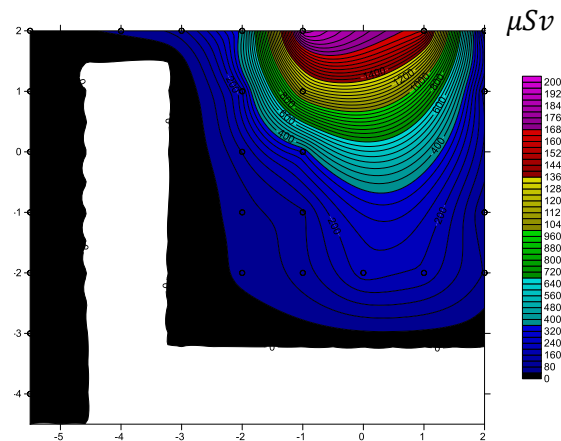
Paparan radiasi ruang terapi dengan LINAC dengan posisi *gantry* 0^0 terbagi menjadi 3 tingkat berdasarkan hasil kontur. Tingkat pertama dengan paparan radiasi rentang antara $0 \mu Sv$ sampai $40 \mu Sv$ yang ditunjukkan dengan warna hitam. Tingkat kedua dengan paparan radiasi rentang antara $40 \mu Sv$ sampai $360 \mu Sv$ yang ditunjukkan dengan warna biru tua. Tingkat ketiga dengan paparan radiasi rentang antara $360 \mu Sv$ sampai $680 \mu Sv$ ditunjukkan dengan warna biru muda.

Menurut peraturan kepala BAPETEN no.01/Ka-BAPETEN/-99 bahwa nilai batas dosis untuk pekerja radiasi adalah $20 mSv$ atau $20.000 \mu Sv$ pertahun, sedangkan menurut peraturan kepala menteri ketenagakerjaan beban kerja pekerja Indonesia adalah 2000 jam per tahun maka nilai batas dosis pekerja radiasi per jam adalah $10 \mu Sv$ sehingga laju dosis maksimal yang boleh diterima pekerja radiasi adalah $10 \mu Sv/h$.

Kontur paparan radiasi ruang terapi terendah ditunjukkan oleh warna hitam adalah paparan dengan rentang $0 \mu Sv$ sampai $40 \mu Sv$. Pada penelitian ini dosis 50 MU disinarkan selama 15 detik, maka dapat dihitung laju dosis pada daerah dengan kontur warna hitam antara $0 \mu Sv/h$ sampai $9.600 \mu Sv/h$ atau $9,6 mSv/h$. Daerah aman pada posisi *gantry* 0^0 berada pada *maze* dengan titik koordinat (-5,5;-4) dengan laju dosis $7,2 \mu Sv/h$.

Pengukuran Radiasi Posisi *Gantry* 90^0

Hasil kurva isodosis pada posisi *gantry* 90^0 dari pengukuran ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva isodosis paparan radiasi ruang terapi posisi *gantry* 90^0

Kontur pada gambar 3 menunjukkan garis yang berhubungan sebagai kurva isodosis atau garis yang menghubungkan besar paparan radiasi yang sama. Terlihat pada gambar 5 paparan radiasi pada ruang terapi dengan LINAC dengan posisi *gantry* 90^0 terdistribusi paling besar pada sisi didekat dinding primer 1 dan titik disekitar berkas utama, semakin menjauhi dinding primer 1 dan berkas utama radiasi semakin kecil ditunjukkan dari perubahan warna.

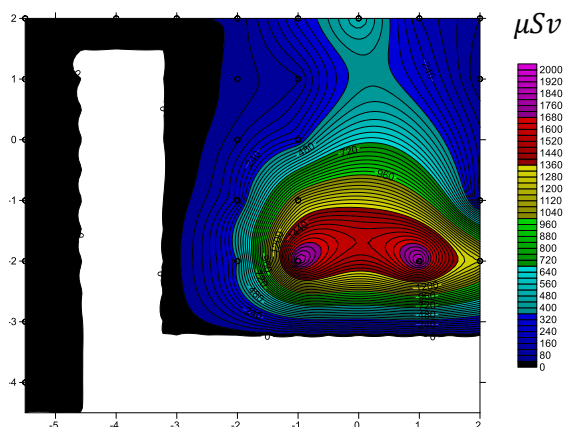
Paparan radiasi ruang terapi dengan LINAC dengan posisi *gantry* 90^0 terbagi menjadi 7 tingkat berdasarkan hasil kontur. Tingkat pertama dengan paparan radiasi rentang antara $0 \mu Sv$ sampai $40 \mu Sv$ yang ditunjukkan dengan warna hitam. Tingkat kedua dengan paparan radiasi rentang antara $40 \mu Sv$ sampai $360 \mu Sv$ yang ditunjukkan dengan biru tua. Tingkat ketiga dengan paparan radiasi rentang antara $360 \mu Sv$ sampai $680 \mu Sv$ ditunjukkan dengan warna biru muda. Tingkat keempat dengan paparan radiasi rentang antara $680 \mu Sv$ sampai $1000 \mu Sv$ ditunjukkan dengan warna hijau. Tingkat kelima dengan paparan radiasi rentang antara $1000 \mu Sv$ sampai $1360 \mu Sv$ ditunjukkan dengan warna kuning. Tingkat keenam dengan paparan radiasi rentang antara $1360 \mu Sv$ sampai $1680 \mu Sv$ ditunjukkan dengan warna merah. Tingkat

ketujuh dengan paparan radiasi rentang antara 1680 μSv sampai 2000 μSv ditunjukkan dengan warna ungu.

Kontur paparan radiasi ruang terapi terendah ditunjukkan oleh warna hitam adalah paparan dengan rentang 0 μSv sampai 40 μSv . Pada penelitian ini dosis 50 MU disinarkan selama 15 detik, maka dapat dihitung laju dosis pada daerah dengan kontur warna hitam antara 0 $\mu Sv/h$ sampai 9.600 $\mu Sv/h$ atau 9,6 mSv/h . Titik dengan paparan terendah pada posisi *gantry* 90⁰ berada pada *maze* dengan titik koordinat (-5,5;-4) dengan laju dosis 28,8 $\mu Sv/h$, sehingga pada posisi *gantry* 90⁰ tidak ada titik aman bagi pekerja radiasi.

Pengukuran Radiasi Posisi *Gantry* 270⁰

Hasil kurva isodosis pada posisi *gantry* 0⁰ dari pengukuran ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva isodosis paparan radiasi ruang terapi posisi *gantry* 270⁰

Kontur pada gambar 4 menunjukkan garis yang berhubungan sebagai kurva isodosis atau garis yang menghubungkan besar paparan radiasi yang sama. Terlihat pada gambar 4 paparan radiasi pada ruang terapi dengan LINAC dengan posisi *gantry* 270⁰ terdistribusi paling besar pada sisi di dekat dinding primer 1 dan titik di sekitar berkas utama, semakin menjauhi dinding primer 2 dan berkas utama radiasi semakin kecil ditunjukkan dari perubahan warna.

Paparan radiasi ruang terapi dengan LINAC dengan posisi *gantry* 270⁰ terbagi menjadi 7 tingkat berdasarkan hasil kontur. Tingkat pertama dengan paparan radiasi rentang antara 0 μSv sampai 40 μSv yang ditunjukkan dengan warna hitam. Tingkat kedua dengan paparan radiasi rentang antara 40 μSv sampai 360 μSv yang ditunjukkan dengan biru tua. Tingkat ketiga dengan paparan radiasi rentang antara 360 μSv sampai 680 μSv ditunjukkan dengan warna biru muda. Tingkat keempat dengan paparan radiasi rentang antara 680 μSv sampai 1000 μSv ditunjukkan dengan warna hijau. Tingkat kelima dengan paparan radiasi rentang antara 1000 μSv sampai 1360 μSv ditunjukkan dengan warna kuning. Tingkat keenam dengan paparan radiasi rentang antara 1360 μSv sampai 1680 μSv ditunjukkan dengan warna merah. Tingkat ketujuh dengan paparan radiasi rentang antara 1680 μSv sampai 2000 μSv ditunjukkan dengan warna ungu.

Kontur paparan radiasi ruang terapi terendah ditunjukkan oleh warna hitam adalah paparan dengan rentang 0 μSv sampai 40 μSv . Pada penelitian ini dosis 50 MU disinarkan selama 15 detik, maka dapat dihitung laju dosis pada daerah dengan kontur warna hitam antara 0 $\mu Sv/h$ sampai 9.600 $\mu Sv/h$ atau 9,6 mSv/h . Daerah aman pada posisi *gantry* 270⁰ berada pada *maze* dengan titik koordinat (-5,5;-4) dengan laju dosis 9,6 $\mu Sv/h$.

Pengukuran dosis radiasi pasien

Sebagai penelitian paparan radiasi yang diterima oleh pasien di luar paparan medik digunakan studi kasus contoh pasien X yang menjalani terapi karena penyakit kanker servik. Pasien X ini sekali fraksinasi penyinaran mendapat 2 Gy yang dibagi menjadi 4 kali penyinaran dengan 4 posisi *gantry* yakni posisi *gantry* 0⁰, *gantry* 90⁰, *gantry* 180⁰ dan *gantry* 270⁰. Dosis serap 2 Gy ini merupakan jumlah dari 4 kali penyinaran dengan luas lapangan 10 cm x 10 cm sehingga tiap penyinaran dan tiap posisi *gantry* dosis yang diterima pasien berbeda.

Untuk mengonversikan nilai paparan berdasarkan lapangan, cara konversi besar paparan dilakukan dengan mengalikan paparan radiasi 40 cm x 40 cm dengan nilai *invers square*. Nilai *invers square* didapat dengan membandingkan besar dosis yang diberikan kepada pasien pada software *treatment planning system* diubah luas lapangannya menjadi 40 cm x 40 cm dengan software *treatment planning system* prowess yang terkoneksi dengan LINAC. Cara menghitung *invers square* melalui persamaan 4.

$$invers\ square = \frac{D_1}{D_2} \quad (4)$$

D₁ adalah dosis serap pada luas lapangan 40 cm x 40 cm dan D₂ adalah dosis serap pada luas lapangan 10 cm x 10 cm. Karena setiap posisi *gantry* dosis serap yang diberikan berbeda maka harus dihitung satu per satu. Data dosis serap pada luas lapangan 10 cm x 10 cm dan luas lapangan 40 cm x 40 cm disajikan pada tabel 1

Tabel 1. Nilai *invers square*

Posisi <i>gantry</i>	D ₁ (MU)	D ₂ (MU)	<i>Invers square</i>
0 ⁰	62,6	54,2	0,866
90 ⁰	78,8	62,5	0,793
180 ⁰	58,4	51,8	0,887
270 ⁰	81,5	64,3	0,789

Untuk menghitung besar paparan radiasi pasien, paparan radiasi ruang terapi pada posisi pasien dikali dengan nilai *invers square*. Hasil nilai paparan radiasi ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Paparan radiasi posisi pasien

Posisi <i>gantry</i>	Besar paparan radiasi (μSv)	
	Titik (-2,0)	Titik (-1,0)
0 ⁰	48,8424	213,036
90 ⁰	96,746	251,381
180 ⁰	50,0268	218,202
270 ⁰	89,157	229,599

Jumlah total paparan radiasi yang diterima oleh pasien X jika disinari dengan dosis serap 50

MU pada tiap posisi *gantry* pada setiap kali fraksinasi dengan luas lapangan 10 cm x 10 cm adalah 1.196,9502 μSv atau 1,197 mSv. Jika sebelum *replanning* pasien harus menjalani terapi sebanyak 20 kali maka jumlah total paparan radiasi yang diterima pasien adalah 23,94 mSv.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada pengukuran paparan radiasi ruang terapi dengan LINAC 6 MV di rumah sakit Ken Saras dengan variasi 3 posisi *gantry* dapat disimpulkan

1. Nilai paparan radiasi ruang terapi pada posisi *gantry* 0⁰ terbesar pada titik-titik berjarak 1 meter di dekat isosenter dengan titik aman (-5,5;-4) dengan laju dosis 7,2 μSv/h. Nilai paparan radiasi ruang terapi pada posisi *gantry* 90⁰ terbesar pada titik di dekat berkas utama dan dinding primer 1 dan tidak ada titik aman untuk pekerja radiasi. Nilai paparan radiasi ruang terapi pada posisi *gantry* 270⁰ terbesar pada titik di dekat berkas utama dan dinding primer 2 dengan titik aman (-5,5;-4) dengan laju dosis 9,6 μSv/h.
2. Besar paparan radiasi yang diterima oleh pasien X pada penelitian ini untuk menjalani sekali terapi dengan 4 kali penyinaran pada 4 variasi posisi *gantry* dengan dosis 50 MU dan luas lapangan 10 cm x 10 cm adalah 1.196,9502 μSv atau 1,197 mSv.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syaifudin, M dan sulisyanti, Y., 2007, *penerapan efek interaksi radiasi dengan sistem biologi sebagai dosimeter biologi*. Seminar nasional III SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta: 1978-0176
- [2] Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 01 Tahun 1999. *tentang ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi*

- [3] National Council on Radiation Protection and Measurements, 1987, *Recommendations on Limits for Exposure to Ionizing Radiation*, Report No. 91. Bethesda
- [4] National Council on Radiation Protection and Measurements, 1976, *Structural Shielding Design and Evaluation for Medical Use of X Rays and Gamma Rays of Energies up to 10 MeV*. Report No. 49, Washington
- [5] Darmawati dan Suharni, 2012, *impelentasi linear accelerator dalam penanganan kasus kanker*. Prosiding pertemuan dan presentasi ilmiah teknologi akselerator dan aplikasinya. vol. 14 : 36 - 47