

**ANALYSIS OF ROOFTOP SKYSHINE RADIATION EXPOSURE WITH ANGLE OF
GANTRY LINEAR ACCELERATOR 180° IN RADIOTHERAPY UNIT OF PERTAMINA
CENTRAL HOSPITAL JAKARTA**

**Mayarani, Eka Putra Syarif Hidayat, Nursama Heru Apriantoro,
Robert Kristian, Muhammad Irsal**

Jurusan Teknik Radiodiagnostik dan Radioterapi, Poltekkes Kemenkes Jakarta II
Jl. Hang Jebat III / F3, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan 12120

Email : muhammadirsal@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Principally, the measurement of skyshine radiation exposure is important to be conducted if there is public activity in a certain place in which the source of radiation can emit its scattering radiation to all directions including to the rooftop of a Radiotherapy building. the Regulation of the Head of the National Nuclear Power Energy No. 8 Year 2011 Article 32a and No. 4 year 2013 article 23a namely 1 mSv/year. As for the design of this research, it is quantitative descriptive by conducting the measurement of radiation exposure to 44 points of measurement, research instrumentations used herein are 2 surveymeter, water phantom, Linac Primus 2D Plus. Result radiation exposure measurement are 6 point areas with the values above 1 mR/hr. Each of the average value of the measurement of the exposure rate at each point is calculated by the annual dose formula. All the final calculation results with the annual dose formula in mSv/year unit yields the values below 1 mSv/year at the 44 points measurement. the rooftop area of Radiotherapy building through Child Polyclinic Pertamina Central Hospital is under a safe limit with all calculation results of annual dose values below 1 mSv/year.

Keywords : Skyshine radiation, Exposure rate, Annual dose

**ANALISIS PAPARAN RADIASI SKYSHINE ROOFTOP UNIT RADIOTERAPI
RUMAH SAKIT PUSAT PERTAMINA JAKARTA DENGAN SUDUT GANTRY
LINEAR ACCELERATOR 180°**

ABSTRAK

Pengukuran paparan radiasi skyshine penting untuk dilakukan apabila terdapat aktifitas publik pada suatu daerah dimana sumber radiasi dapat memancarkan radiasi hamburnya ke segala arah termasuk ke arah langit-langit (rooftop) suatu bangunan gedung Radioterapi, mengacu pada NBD (Nilai Batas Dosis) yang tercantum pada peraturan kepala BAPETEN No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni 1 mSv/tahun. Desain penelitian ini adalah kuantitatif yang bersifat deskriptif dengan dilakukan pengukuran paparan radiasi pada 44 titik pengukuran dengan menggunakan 2 buah surveymeter, fantom air, pesawat Linac Primus 2D Plus. Hasil pengukuran laju paparan radiasi terdapat 6 area titik pengukuran dengan nilai di atas 1 mR/jam. Setiap hasil nilai pengukuran laju paparan di setiap titiknya dilakukan perhitungan dosis tahunan (D_T). Semua hasil akhir perhitungan dosis tahunan (D_T) menghasilkan nilai di bawah 1 mSv/tahun pada ke-44 titik pengukuran, Sehingga pada area rooftop (atap) gedung Radioterapi sampai area Poliklinik Anak Rumah Sakit Pusat Pertamina dalam batas aman dengan semua hasil perhitungan rumus dosis tahunan (D_T) di bawah nilai 1 mSv/tahun.

Kata kunci : Radiasi skyshine, Laju paparan, Dosis tahunan

PENDAHULUAN

Sejak ditemukannya sinar-X dari 100 tahun yang lampau oleh Wilhelm Conrad Roentgen dan dikenalnya sifat radioaktivitas oleh Marie Curie dan Henri Becquerel, penggunaan radiasi sebagai salah satu modalitas pengobatan penyakit kanker telah berkembang dengan pesatnya. Radioterapi atau terapi radiasi adalah pengobatan penyakit kanker dengan menggunakan sinar pengion. Sinar pengion dapat berupa sinar-X dan sinar gamma, atau dari kelompok partikel Alfa, Beta, dan Neutron (1). Pengobatan ini bertujuan untuk menghancurkan sel-sel tumor dengan memberikan dosis yang maksimal pada volume target penyinaran tanpa menyebabkan kerusakan yang berarti pada jaringan normal (2.3.4). Pada prinsipnya pengobatan dengan sinar pengion ini adalah dengan memaparkan sinar radioaktif pada jaringan kanker. Caranya dapat berupa radiasi eksternal (Teleterapi), Brakhiterapi atau dengan kombinasi keduanya (1).

Sistem keamanan proteksi radiasi dibutuhkan bagi instalasi yang menggunakan sumber radiasi pengion bagi kebutuhan diagnostik maupun terapi radiasi. Karena setiap paparan radiasi dapat menimbulkan beberapa resiko terhadap individu dan tingkat paparan yang diperbolehkan harus sesuai dengan

hasil yang dicapai. Oleh karena itu, pada prinsipnya tujuan keseluruhan dari proteksi radiasi adalah untuk menyeimbangkan resiko dan manfaat dari aktifitas yang melibatkan radiasi (5).

Menurut Dewan Nasional Perlindungan Radiasi dan Pengukuran atau *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP 1993, 2006) tujuan dari peraturan proteksi radiasi adalah untuk mencegah efek radiasi deterministik secara klinis dengan menjaga petugas kesehatan dan masyarakat terpapar pada dosis ambang tertentu (6).

Nilai batas dosis bagi anggota masyarakat ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni dosis efektif sebesar 1 mSv (satu miliSievert) dalam satu tahun. Nilai batas dosis ini ditetapkan guna mencapai keamanan area publik bagi anggota masyarakat sekitar sumber radiasi (7.8).

Skyshine adalah istilah yang digunakan untuk radiasi yang dekat permukaan tanah dengan kecepatan ke atas permukaan tanah dan kemudian tersebar kembali oleh molekul di atmosfer. Radiasi *skyshine* menjadi perhatian karena dapat memberikan dosis serap ke area umum di luar batas dari fasilitas produksi radiasi, bahkan di daerah yang tidak segaris dari sumber radiasi (9).

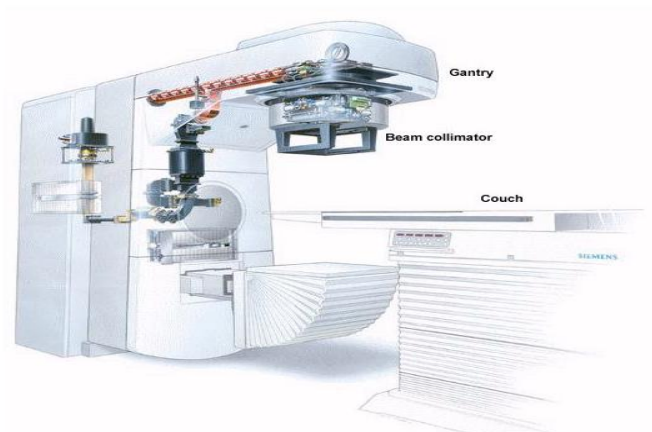
Beberapa metode untuk mengukur radiasi *skyshine* dari fasilitas radiasi sinar-X dan sinar gamma telah dikembangkan dan dijelaskan oleh *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP 2005). Metode ini mencakup persamaan untuk laju dosis di lokasi didasarkan pada laju dosis di *isocenter*, sudut *gantry*, dan pertimbangan geometris. McGinley (1993) mengukur tingkat radiasi *skyshine* di sekitar *Linear Accelerator* (Linac) yang memproduksi 18 MV foton (foton *Bremsstrahlung* dari *beams* 18 MeV elektron). Hasilnya menunjukkan perbedaan dengan nilai yang dihitung dengan menggunakan metode yang disarankan dalam publikasi NCRP [9].

Pengukuran radiasi *skyshine* di Rumah Sakit Pusat Pertamina dilakukan pada *rooftop* Unit Radioterapi sampai Poliklinik Anak. Dasar dari pengukuran tersebut adalah akan dibangunnya fasilitas baru di Poliklinik Anak yakni taman bermain anak tepat di *rooftop* Unit Radioterapi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua *surveymeter* sebagai perbandingan hasil nilai pengukuran guna mencapai keakuratan hasil pengukuran dan dilakukan dengan variasi jarak antar titik pengukuran dari titik *isocenter* sumber radiasi dengan tujuan mengetahui aman atau tidak amannya area *rooftop* Unit Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina.

Pesawat LINAC (*Linear Accelerator*)

Pesawat Linac (*Linear Accelerator*) adalah suatu alat yang menggunakan frekuensi gelombang elektromagnetik yang tinggi, bertujuan untuk mempercepat elektron menjadi energi tinggi melalui tabung linear. Elektron yang mempunyai energi tinggi dapat digunakan langsung untuk mengobati tumor pada permukaan dan dapat juga dikenakan pada suatu target untuk memproduksi sinar-X yang digunakan untuk mengobati tumor yang berada jauh dari permukaan tubuh (10.11.12).

Elektron merupakan sumber awal radiasi yang dikenakan ke pasien. Kemudian elektron tersebut dipercepat menjadi elektron energi tinggi. Selanjutnya elektron tersebut dilewatkan ke magnet pembelok (*bending magnet*).



Gambar 1. *Linear Accelerator* (13).

Elektron merupakan sumber awal radiasi yang dikenakan ke pasien. Kemudian elektron tersebut dipercepat menjadi elektron energi tinggi. Selanjutnya elektron tersebut dilewatkan ke magnet pembelok (*bending magnet*). *Bending magnet* akan membelokkan berkas elektron yang biasanya sebesar 90° . Pada *bending magnet* elektron dengan energi yang sedikit lebih tinggi atau lebih rendah dari yang dikehendaki, akan dibelokkan sedemikian rupa sehingga energi dan lintasannya dapat sesuai kembali dengan yang dikendendaki. Sedangkan elektron dengan penyimpangan energi agak besar akan dihilangkan oleh sebuah filter celah mekanis. Dengan demikian, dapat dihasilkan pemfokusan yang sangat baik dari berkas elektron serta energi yang monokromatis. Setelah mengalami pembelokkan, berkas elektron berenergi tinggi yang keluar dari *bending magnet* akan dipakai untuk terapi foton (Gambar 1) atau terapi elektron.

Efek Radiasi Terhadap Manusia

Radiasi atau pancaran dapat didefinisikan sebagai suatu proses dimana energi dilepaskan oleh suatu atom. Jika radiasi mengenai tubuh manusia, ada dua kemungkinan yang dapat terjadi yakni berinteraksi dengan tubuh manusia, atau hanya melewati saja. Jika berinteraksi, radiasi dapat mengionisasi atau dapat

mengeksitasi atom. Setiap terjadi proses ionisasi atau eksitasi, radiasi akan kehilangan sebagian energinya. Energi radiasi yang hilang akan menyebabkan peningkatan temperatur (panas) pada bahan (atom) yang berinteraksi dengan radiasi tersebut (14)

Interaksi radiasi pengion dengan materi biologi diawali dengan interaksi fisika yaitu proses ionisasi. Elektron yang dihasilkan dari proses ionisasi akan berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung bila energi elektron tersebut langsung terserap oleh molekul organik dalam sel yang secara biologi penting, seperti DNA (*Deoxyribose-Nucleic Acid*). Secara tidak langsung bila terlebih dahulu terjadi interaksi radiasi dengan molekul air dalam sel yang efeknya kemudian akan mengenai molekul organik yang penting. Interaksi secara fisika-kimia ini dapat menimbulkan kerusakan sel lebih lanjut yang akhirnya menimbulkan efek biologi yang dapat diamati (15).

Efek stokastik tidak mempunyai batas ambang. Artinya, dosis radiasi serendah apapun mempunyai kemungkinan untuk menimbulkan perubahan pada sistem biologi, baik pada tingkat molekul maupun sel. Pada efek stokastik ini tidak terjadi kematian sel melainkan terjadi perubahan sel. Efek stokastik baru akan muncul setelah masa laten yang lama. Semakin

besar dosis, semakin besar peluang terjadinya efek stokastik, sedangkan keparahannya tidak bergantung kepada dosis (15)

Efek ini terjadi karena adanya kematian sel akibat dari paparan radiasi baik pada sebagian atau seluruh tubuh. Efek deterministik timbul bila dosis yang diterima di atas dosis ambang (*threshold dose*) dan umumnya timbul dengan waktu tunda yang relatif singkat dibandingkan dengan efek stokastik.

Nilai batas dosis bagi anggota masyarakat ditetapkan dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni dosis efektif sebesar 1 mSv (satu miliSievert) dalam satu tahun (7.8).

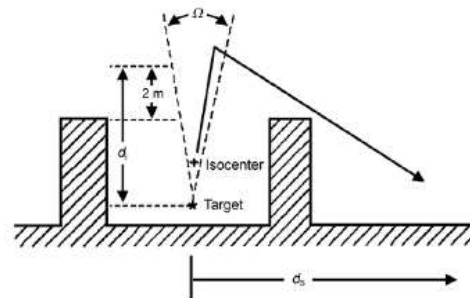
Skyshine Radiation

Skyshine adalah istilah yang digunakan untuk radiasi yang dekat permukaan tanah dengan kecepatan ke atas permukaan tanah dan kemudian tersebar kembali oleh molekul di atmosfer. Radiasi *skyshine* menjadi perhatian karena dapat memberikan dosis serap ke area umum di luar batas dari fasilitas produksi radiasi, bahkan di daerah yang tidak segaris dari sumber radiasi (9).

NCRP memberikan metode untuk perhitungan *skyshine* pada fasilitas akselerator. Situasi ini diilustrasikan pada

Gambar 2.15 untuk foton *skyshine*. Metode McGinley berikut dan penggunaan istilah dijelaskan pada Gambar 2.14. Nilai Dosis Ekuivalen [H (nSv h⁻¹)] pada jarak d_s (meter) dari titik *isocenter* diberikan pada Persamaan 2.1. (16).

$$\dot{H} = \frac{2.5 \times 10^7 (B_{XS} \dot{D}_0 \Omega^{1.3})}{(d_1 d_s)^2} \quad (1)$$



Gambar 2. Bagan menunjukkan titik *isocenter* dan lokasi target untuk evaluasi *photon skyshine* (17)

METODE PENELITIAN

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu : surveymeter, Fantom air, dan pesawat Linac 2D Plus. Pengumpulan data dengan melakukan pengukuran paparan radiasi area *rooftop* Unit Radioterapi menggunakan dua buah surveymeter sebagai perbandingan hasil nilai pengukuran guna mencapai keakuratan hasil pengukuran dan dilakukan dengan variasi jarak antar titik

pengukuran satu meter dan dua meter dan dilakukan pada 44 titik pengukuran. Satu titik pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah surveymeter dan dilakukan tiga kali pengulangan pengukuran dengan energi 10 MV, 100 MU dan sudut *gantry linear accelerator* 180°.

Data yang diperoleh dilakukan perhitungan dosis akumulasi paparan dalam satu tahun dalam satuan mSv (miliSievert) atau dosis tahunan. Setelah diketahui hasil perhitungan dosis akumulasi dalam satu tahun, dilakukan analisa terhadap NBD (Nilai Batas Dosis) anggota masyarakat menurut Peraturan Kepala Bapeten No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni dosis efektif sebesar 1 mSv dalam satu tahun.

Analisis Perhitungan Dosis Tahunan (D_T)

Perhitungan dosis tahunan (D_T) dilakukan pada ke-44 titik pengukuran dari hasil nilai rata-rata. Hasil akhir perhitungan dosis tahunan yang akan digunakan sebagai acuan analisis terhadap NBD (Nilai Batas Dosis) anggota masyarakat menurut peraturan kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional (BAPETEN). Nilai akhir perhitungan dosis tahunan (D_T) diasumsikan dengan ada 50 pasien Radioterapi Rumah Sakit Pusat

Pertamina, setiap pasien melakukan 4 kali penyinaran dan semua penyinaran ke arahatap Rumus dosis tahunan (16) adalah sebagai berikut :

$$D_T = ((X - B) \cdot f) \cdot (W) \cdot T \cdot U \cdot (U \text{ (percent)}) \quad (2)$$

Keterangan :

D_T : dosis tahunan (mSv/tahun).

X : nilai paparan terukur surveymeter (mR/jam).

B : nilai *background area* (mR/jam).

f : faktor konversi paparan ke dosis serap ; 0,00877.

W : beban kerja pesawat per hari (jam) x jumlah hari kerja dalam seminggu x jumlah minggu efektif dalam setahun.

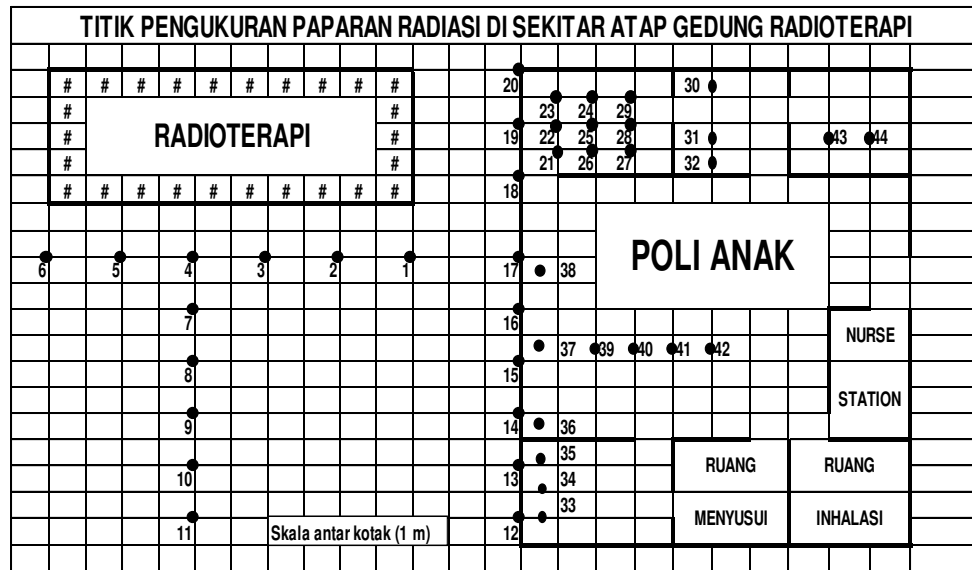
T : adalah faktor *occupancy (for exterior locations, T = 0,05 & for location not occupied continuously, T = 0,2)*.

U : adalah faktor guna (*use factor, U = 0,25 for ceiling/atap*). U (percent) adalah nilai *use factor* untuk penggunaan sudut *gantry* $\geq 180^\circ$ (U (percent) = 26,3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran paparan radiasi

Pada penelitian ini digunakan pesawat *Linear Accelerator Primus 2D Plus* milik Rumah Sakit Pusat Pertamina. *Gantry* pesawat diatur pada sudut 180° dengan 100 MU. Setelah *set-up gantry* sudah pada sudut 180°, mempersiapkan fantom air dengan dimensi 40 cm x 40 cm x 40 cm dengan ketinggian air menyesuaikan dengan ketebalan rata-rata tubuh pasien Rumah Sakit Pusat Pertamina dan

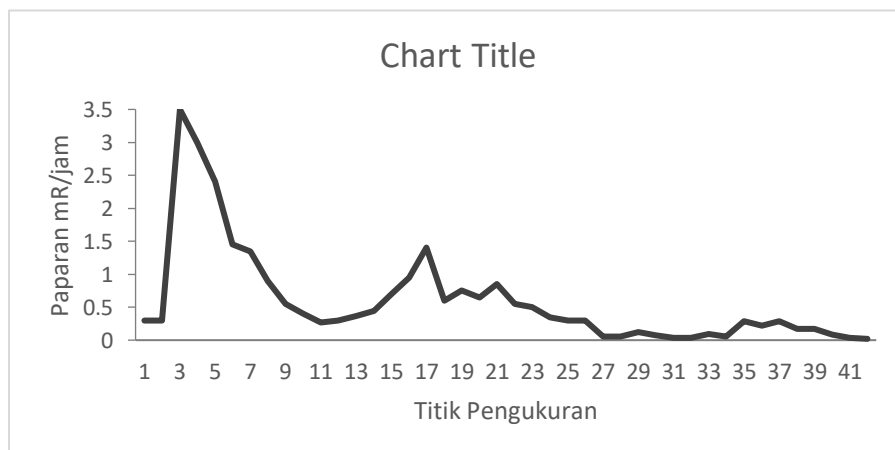


Gambar 3. Denah titik pengukuran paparan radiasi di sekitar atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina

mengatur SSD pada 100 cm dengan luas lapangan penyinaran 40 cm x 40 cm.

Pengukuran paparan radiasi dilakukan di atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina sebanyak 44 titik.

Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan pencatatan nilai radiasi *background* area. Nilai radiasi *background* area yang tercatat pada saat pengukuran adalah 0,02 mR/jam.



Gambar 4. Nilai rata-rata hasil pengukuran paparan radiasi Titik pengukuran 1 sampai Titik Pengukuran 41.

Tabel 1. Nilai hasil pengukuran dan nilai perhitungan akhir paparan radiasi

No.	Victoreen 1 mR/jam	Victoreen 2 mR/jam	Nilai Rata-Rata mR/jam	Nilai Akhir mSv/tahun
1.	0,3	0,3	0,30	0,0016146
2.	0,3	0,3	0,30	0,0016146
3.	3	4	3,50	0,0200666
4.	3	3	3,00	0,0171835
5.	2	2,8	2,40	0,0137237
6.	1,5	1,4	1,45	0,0082458
7.	1,5	1,2	1,35	0,0076691
8.	1	0,8	0,90	0,0050743
9.	0,5	0,6	0,55	0,0030561
10.	0,4	0,4	0,40	0,0021912
11.	0,3	0,3	0,30	0,0016146
12.	0,25	0,28	0,27	0,0014127
13.	0,3	0,29	0,30	0,0015857
14.	0,4	0,34	0,37	0,0020182
15.	0,4	0,48	0,44	0,0024218
16.	0,5	0,52	0,51	0,0028255
17.	0,7	0,7	0,70	0,0039211
18.	0,9	1	0,95	0,0053626
19.	1	1,8	1,40	0,0079575
20.	0,6	0,6	0,60	0,0033444
21.	0,7	0,8	0,75	0,0168375
22.	0,7	0,6	0,65	0,0145310
23.	0,7	1	0,85	0,0191440
24.	0,6	0,5	0,55	0,0122245
25.	0,5	0,5	0,50	0,0110712
26.	0,4	0,3	0,35	0,0076115
27.	0,3	0,3	0,30	0,0064582
28.	0,3	0,3	0,30	0,0064582
29.	0,09	0,02	0,055	0,0008073
30.	0,08	0,02	0,05	0,0006920
31.	0,13	0,12	0,125	0,0024218
32.	0,08	0,06	0,07	0,0011533
33.	0,05	0,02	0,035	0,0003460
34.	0,05	0,02	0,035	0,0003460
35.	0,08	0,1	0,09	0,0016146
36.	0,06	0,04	0,05	0,0006920
37.	0,3	0,28	0,29	0,0062276
38.	0,3	0,14	0,22	0,0046130
39.	0,3	0,28	0,29	0,0062276
40.	0,15	0,2	0,175	0,0035751
41.	0,15	0,2	0,175	0,0035751
42.	0,06	0,1	0,08	0,0013839
43.	0,04	0,04	0,04	0,0004613
44.	0,02	0,02	0,02	0

Pada satu titik pengukuran dilakukan dengan 2 buah surveymeter dan diulang sebanyak 3 kali *beam on* guna mendapatkan nilai pengukuran yang akurat. Titik pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3. menunjukkan denah titik pengukuran paparan radiasi di sekitar atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina ketinggian air menyesuaikan dengan ketebalan rata-rata tubuh pasien Rumah Sakit Pusat Pertamina dan mengatur SSD pada 100 cm dengan luas lapangan penyinaran 40 cm x 40 cm.

Dari hasil pengukuran laju paparan radiasi dalam satuan mR/jam yang tertera pada Grafik Gambar 4, dapat terlihat ada titik dengan nilai hasil pengukuran laju paparan di atas 1 mR/jam yakni pada titik 3 yaitu 3,5 mR/jam, titik 4 yaitu 3 mR/jam, titik 5 yaitu 2,4 mR/jam, titik 6 yaitu 1,45 mR/jam, titik 7 yaitu 1,35 mR/jam dan titik 19 yaitu 1.4mR/jam Jika dilihat dari denah titik pengukuran paparan radiasi yang tertera pada Gambar 4.6 titik 3, titik 4, titik 5, titik 6, titik 7 terletak dekat dengan area *isocenter* sumber radiasi.

Pada titik 19 terletak tepat segaris dengan area *isocenter* sumber radiasi jika ditarik dengan garis horizontal. Area dengan titik pengukuran tersebut merupakan area atap (*rooftop*) gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina

yang dimana merupakan area terlarang untuk penduduk umum.

Setiap hasil nilai rata-rata dari ke-44 titik pengukuran dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus dosis tahunan (D_T) untuk mengetahui nilai akhir perbandingan dengan NDB (Nilai Batas Dosis) anggota masyarakat apakah hasil nilai perhitungan dosis tahunan (D_T) di satu titik pengukuran aman atau tidak aman dan selanjutnya terhadap seluruh titik pengukuran. (Tabel 1)

Tabel 1. merupakan nilai hasil pengukuran dan hasil akhir nilai perhitungan paparan radiasi setelah dilakukan perhitungan dengan rumus dosis tahunan (D_T). Hasil akhir perhitungan dosis tahunan (D_T) diasumsikan dengan adanya 50 pasien radioterapi, setiap pasien dengan 4 lapangan penyinaran, semua penyinaran ke arah atap, masyarakat berada di lingkungan area atap gedung Radioterapi setiap hari kerja selama 8 jam per hari selama 1 tahun.

Tabel 1. mencantumkan nilai hasil akhir perhitungan dosis tahunan (D_T) dalam satuan mSv/tahun. Dari tabel yang disajikan, pada titik pengukuran 1 sampai titik pengukuran 20 perhitungan rumus dosis tahunan (D_T) menggunakan nilai T (*occupancy factor*) 0,05. Pada titik pengukuran 21 sampai titik pengukuran 44 perhitungan rumus dosis tahunan (D_T)

menggunakan nilai T (*occupancy factor*) 0,2.

Dari ke-44 titik pengukuran semua nilai akhir dalam satuan mSv/tahun di bawah dari nilai 1 mSv/tahun. Nilai ini jauh di bawah dari Nilai Batas Dosis (NBD) yang dipersyaratkan dalam peraturan kepala BAPETEN No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni 1 mSv/tahun. Artinya area atap (*rooftop*) Unit Radioterapi sampai ke area Poli Anak Rumah Sakit Pusat Pertamina dapat dinyatakan dalam batas aman. Secara umum juga dapat dinyatakan bahwa pengelola rumah sakit sangat peduli dengan keselamatan masyarakat akan bahaya radiasi.

Nilai tertinggi hasil perhitungan akhir berada pada titik 3 yakni sebesar 0,0200666 mSv/tahun dan pada titik 4 yakni sebesar 0,0171835 mSv/tahun. Nilai terendah hasil perhitungan akhir berapada pada titik 43 yakni sebesar 0,0004613 mSv/tahun dan pada titik 44 yakni sebesar 0 mSv/tahun. Dalam arti pada titik 44 nilai paparan radiasi sama dengan radiasi *background*.

Ada pengaruh jarak dari letak *isocenter* sumber radiasi terhadap nilai hasil pengukuran paparan dari setiap titik. Semakin jauh jarak titik pengukuran dari *isocenter* sumber radiasi, maka semakin kecil nilai hasil paparan radiasi yang terukur. Hal ini membuktikan prinsip

proteksi radiasi dalam pengaruh jarak terhadap nilai dosis radiasi yang berada di suatu tempat pada jarak tertentu.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian tentang analisis paparan radiasi *skyshinerooftop* Unit Radioterapi dengan sudut *gantry Linear Accelerator* 180° dan energi 10 MV di Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta, maka dapat ditarik kesimpulan dari ke-44 titik pengukuran paparan radiasi sekitar atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina setelah dilakukan perhitungan dengan rumus dosis tahunan (D_T) semua hasil nilai akhir paparan radiasi di bawah nilai 1 mSv/tahun dengan arti area atap gedung Radioterapi dapat dinyatakan aman jika disesuaikan dengan NBD (Nilai Batas Dosis) masyarakat menurut peraturan kepala BAPETEN No. 8 tahun 2011 pasal 32a dan No. 4 tahun 2013 pasal 23a yakni 1 mSv dalam satu tahun.

Dari ke-44 titik pengukuran paparan radiasi sekitar atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina nilai akhir tertinggi dalam satuan mSv/tahun adalah pada titik 3 yakni sebesar 0,0200666 mSv/tahun dan pada titik 4 yakni sebesar 0,0171835 mSv/tahun dengan nilai rata-rata laju paparan radiasi titik 3 yakni 3,50 mR/jam dan titik 4 yakni 3,00 mR/jam. Dari ke-44 titik pengukuran paparan

radiasi sekitar atap gedung Radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina nilai akhir terendah dalam satuan mSv/tahun adalah pada titik 44 yakni sebesar 0 mSv/tahun dan pada titik 43 yakni sebesar 0,0004613 mSv/tahun dengan nilai rata-rata laju paparan radiasi titik 44 yakni 0,02 mR/jam dan titik 43 yakni 0,04 mR/jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. Susworo, R. *Radioterapi, Dasar-Dasar Radioterapi, Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*. Jakarta: UI-Press; 2007
2. Hall. Eric J. *Radiobiology for the Radiologist, 4th ed.* J.B. Lippincott Company, Philadelphia.
3. Michael J, Albert VDG. *Basic Clinical Radiobiology; fourth edition*. Hodder Arnold an Hachette UK Company; 2009.
4. Murat B, Gokhan O, Cuneyt E. *Basic Radiation Oncology*. Springer Berlin; 2010.
5. Turner, E. James. *Atoms, Radiation, and Radiation Protection; third edition*. Germany: Wiley-VCH; 2007.
6. Iwamoto R. Ryan, Haas L. Marilyn, Gosselin K. Tracy. *Manual for Radiation Oncology Nursing Practice and Education; 4th ed.* USA: Oncology Nurse Society; 2012.
7. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011. *Tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik Dan Intervensial*. Jakarta; 2011.
8. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013. *Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*. Jakarta; 2013.
9. Elder DH, Harmon JF, Borak TB. *Skyshine Radiation Resulting From 6 MV And 10 MV Photon Beams From A Medical Accelerator*. 2005;151.
10. Podgorsak, E. (2005). *Radiation Oncology Physics ; a Handbook for teachers and Students*. Vienna, Austria:IAEA.
11. Darmawati, S. (2012) *Implementasi Linear Akselerator dalam Penggunaan Kasus Kanker*, 36-47.
12. M. Khan, F. (2003). *The Physics of Radiation Therapy ; third edition*. Sydney: Kluwer Lippicott Williams and Wilkins.
13. <http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/624/jbptitbpp-gdl-rizkifadli-31180-3-2008ta-2.pdf> diakses pada tanggal 15 Januari 2017.
14. http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/proteksiradiasi/pengenalan_radiasi/2-3.htm diakses pada tanggal 18 Januari 2017.
15. <http://ansn.bapeten.go.id/files/23-3.pdf> diakses pada tanggal 18 Januari 2017.
16. NCRP Report No. 151. (2005). *Structural Shielding Design And Evaluation For Megavoltage X- And Gamma-Ray Radiotherapy Facilities*.
17. <http://ansn.bapeten.go.id/files/23-3.pdf> diakses pada tanggal 18 Januari 2017.