

Analisis Pengaruh Dosis Radiasi Eksternal Akumulasi Dosis yang Diterima Petugas Radiasi di Ruang Penyinaran Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung

Budi Muhamad AR¹⁾, Eko Hidayanto¹⁾ dan Very Richardina¹⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: budi.muhamad@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

In radiation utilization, the regulation should be applied to minimize radiation dose received by the officer in order not to exceed the provision of Dose Limit Value based on BAPETEN Regulation No. 4 of 2013 that the average of equivalent dose is ≤ 50 mSv/year and ≤ 20 mSv for five-year period. The purpose of this study was to analyze the external radiation dose received by each officer at Radiotherapy Installation RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung based on the NBD that has been determined. The equivalent dose values were obtained from the Thermoluminescence Dosemeter (TLD) of each officer over a five-year period from 2012 to 2016 that had been read by using a TLD reader. Then the radiation exposure measured by using a surveymeter with a distance of 3 meters from each teleterapi aircraft with radioactive sources to predict the distance factor between officers and radiation sources. The results showed that teleterapi operators received the highest equivalent dose in a five-year period with a dose value of 0.206 mSv/year, then in 2013 the external radiation dose received by officers and medical physicists reached the highest value when compared to another officers, with the average value of equivalent dose was 0.085 mSv/year and 0.55 μ Sv/hour. If observed from the distance factor, in 2013 each officer tends to come near to the source of radiation at every working hour. All radiotherapy officers at RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung from 2012 to 2016 received a safe radiation dose and not exceed the NBD determined by BAPETEN.

Keywords: Dose Limit Value, External Radiation Dose, Equivalent Dose, Distance

ABSTRAK

Dalam pemanfaatan radiasi, peraturan harus diterapkan untuk meminimalisir dosis radiasi yang diterima oleh petugas agar tidak melebihi ketentuan Nilai Batas Dosis (NBD) berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 yakni dosis ekuivalen rata-rata ≤ 50 mSv/tahun dan ≤ 20 mSv untuk periode lima tahun. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis dosis radiasi eksternal yang diterima oleh setiap petugas di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung berdasarkan NBD yang telah ditentukan. Nilai dosis ekuivalen diperoleh dari Thermoluminescence Dosemeter (TLD) masing-masing petugas selama periode lima tahun yakni dari tahun 2012 hingga 2016 yang telah dibaca dengan menggunakan TLD reader. Kemudian dilakukan pengukuran paparan radiasi menggunakan surveymeter dengan jarak 3 meter dari masing-masing pesawat teleterapi bersumber radioaktif untuk memprediksi faktor jarak antara petugas dengan sumber radiasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa petugas operator teleterapi menerima dosis ekuivalen paling tinggi dalam periode lima tahun dengan nilai dosis sebesar 0,206 mSv/tahun, kemudian pada tahun 2013 dosis radiasi eksternal yang diterima oleh petugas dan fisikawan medik mencapai angka tertinggi jika dibandingkan dengan petugas lainnya dengan nilai dosis ekuivalen rata-rata sebesar 0,085 mSv/tahun dan 0,55 μ Sv/jam. Jika diamati dari faktor jarak, pada tahun 2013 setiap petugas cenderung mendekati sumber radiasi di setiap jam kerjanya. Seluruh petugas radioterapi di RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung dari tahun 2012 hingga 2016 menerima dosis radiasi yang aman dan tidak melebihi NBD yang telah ditentukan oleh BAPETEN.

Kata Kunci: Nilai Batas Dosis, Dosis Radiasi Eksternal, Dosis Ekuivalen, Jarak

PENDAHULUAN

Berkembangnya ilmu pengetahuan mengenai nuklir saat ini dapat kita rasakan manfaatnya dalam berbagai bidang kehidupan termasuk dalam bidang kesehatan dimana teknologi nuklir ini sudah menjadi suatu kebutuhan di berbagai instalasi rumah sakit yang menyediakan pelayanan kedokteran nuklir dan juga radioterapi. Dalam hal ini teknologi nuklir dapat dimanfaatkan untuk memperoleh citra organ dari pasien dengan tujuan untuk mendiagnosis kelainan ataupun sebagai media terapi bagi pasien penderita penyakit tumor maupun kanker^[1].

Selain bermanfaat dalam proses penyembuhan penyakit kanker dan tumor ternyata radiasi yang dihasilkan dari nuklir juga memiliki dampak berbahaya bagi manusia serta lingkungan sekitarnya apabila dipergunakan secara terus menerus dan tanpa pengawasan. Oleh karena itu maka diperlukan suatu prosedur kerja yang benar-benar harus dipahami oleh para petugas dalam bidang pemanfaatan radiasi.

Hal di atas berlaku khususnya bagi para petugas yang dalam kesehariannya seringkali terpapar radiasi secara langsung, oleh karena itu maka NBD ini sangatlah penting untuk diketahui oleh para petugas radiasi di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung. Perlu diketahui bahwa NBD berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Dosis Ekuivalen rata-rata periode 5 tahun ≤ 20 mSv dan Dosis Ekuivalen rata-rata satu tahun adalah ≤ 50 mSv/tahun^[2].

Berkaitan dengan hal tersebut maka diperlukan suatu jaminan keselamatan yang tertuang dalam suatu program pemantauan dosis radiasi eksternal bagi para petugas radiasi Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung yang disusun sedemikian

rupa sehingga mampu mendeteksi setiap kelalaian operasional sekecil apapun. Tujuannya yaitu untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan radiasi yang dapat menyebabkan jumlah paparan radiasi berlebih terhadap para petugas radiasi tersebut.

DASAR TEORI

Ionisasi

Ionisasi adalah peristiwa yang sering dijumpai dalam reaksi kimia maupun fisika, karena melalui peristiwa ionisasi ini, suatu proses dapat berlangsung cepat. Karena peristiwa ionisasi yang terjadi pada senyawa, molekul atau atom bersifat lebih reaktif dari pada senyawa, molekul atau atom yang tidak mengalami ionisasi. Pada peristiwa ionisasi ini senyawa, molekul, atau atom yang semula tidak bermuatan listrik dipaksa menjadi bermuatan listrik. Dengan adanya muatan listrik ini menyebabkan senyawa, molekul, atau atom menjadi reaktif. Muatan listrik pada peristiwa ionisasi ini bisa berupa muatan listrik positif maupun negatif^[3].

Besaran Radiasi

Besarnya paparan radiasi dan dosis radiasi dari suatu material radioaktif dapat dinyatakan menjadi bentuk satuan radiasi.

a. Paparan Radiasi

Besaran radiasi yang perlu diperhatikan pertama kali saat mempelajari dosimetry biologi adalah paparan (*ekspose*). Paparan disimbolkan dengan X dari hasil kongres Radiologi pada tahun 1928. Paparan didefinisikan sebagai kemampuan radiasi pengion untuk menimbulkan ionisasi di udara dalam volume tertentu. Satu paparan merupakan sejumlah muatan sebesar 1 C yang

dipindahkan dari suatu sumber ke 1 kg massa udara^[4].

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (2.1)$$

b. Dosis Serap

Dosis Serap (D) adalah energi rata-rata yang diberikan oleh radiasi pengion sebesar dE kepada bahan yang dilaluinya dengan massa dm . Dengan kata lain, dosis serap merupakan energi rata-rata yang diserap per satuan massa. Satuan dosis serap berdasarkan satuan Internasional (SI) adalah Gray (Gy), satuan yang digunakan sebelumnya adalah rad, dimana $1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad}$ atau $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$ ^[4].

c. Dosis Ekuivalen

Dosis Ekuivalen (H) adalah dosis serap yang sama, tetapi berasal dari jenis radiasi yang berbeda yang memberikan efek berbeda pada sistem tubuh. Dosis ekuivalen biasa disebut dosis Hp (10). Besar dosis ekuivalen lebih banyak digunakan untuk menghitung perbedaan efek biologis terhadap berbagai jenis paparan radiasi. Faktor bobot radiasi atau *Weighting Factor* (W_R) digunakan untuk menentukan dosis ekuivalen sebagai pengali terhadap dosis serap (D). W_R merupakan besar kuantitas radiasi untuk menimbulkan kerusakan pada jaringan organ tubuh. Berikut adalah hubungan antara *Weighting Factor* dengan dosis serap^[4].

$$H = \Sigma(D \times W_R) \quad (2.2)$$

d. Dosis Efektif

Pada penyinaran seluruh tubuh, setiap organ atau jaringan tubuh dapat menerima dosis ekuivalen yang sama, tetapi menimbulkan efek biologi yang berbeda pada organ atau jaringan tubuh. Hal ini terjadi karena adanya perbedaan sensitivitas pada organ atau jaringan tubuh terhadap radiasi. Oleh karena itu dibutuhkan besaran dosis efektif (H_E) guna memperhitungkan efek stokastik. Dosis efektif merupakan pengukuran dosis yang digunakan untuk mempertimbangkan jumlah kerusakan yang kemungkinan dapat dihasilkan dari suatu

dosis radiasi. Dosis efektif diperoleh dari penjumlahan dosis ekuivalen jaringan tubuh (H) yang dikalikan dengan *Weighting Factor Tissue* (WT) tiap jaringan dilihat pada persamaan (2.3). Satuan dosis efektif adalah Rem atau Sievert (Sv)^[4].

$$H_E = \Sigma(W_T H) \quad (2.3)$$

e. Kerma

Kerma adalah besar energi kinetik awal yang dapat menyebabkan ionisasi yang diberikan pada suatu materi dengan massa tertentu. Satuan kerma sama seperti satuan dosis serap yaitu Joule/kg atau Gy/kg. Kerma menurun secara kontinyu bersama dengan bertambahnya kedalaman dalam medium penyerap. Dosis maksimum yang terjadi pada kedalaman hampir sama dengan jangkauan maksimum partikel penyebab ionisasi utama^[4].

Pengaruh Radiasi Terhadap Manusia

Radiasi yang berarti pancaran dapat digunakan untuk menyatakan radiasi matahari yang menggambarkan adanya pancaran sinar matahari. Begitu pula untuk radiasi sinar infrared, radiasi ultraviolet dan radiasi panas tungku api yang kesemuanya itu berarti adanya suatu pancaran. Tetapi radiasi yang dimaksud kali ini adalah pancaran dari suatu zat radioaktif.

Kerusakan sel manusia dapat disebabkan oleh terpapar atau terkena senyawa kimia tertentu, terpapar oleh panas, terpapar oleh sinar tertentu, terpapar oleh radiasi nuklir, dan lain sebagainya. Akan tetapi kerusakan sel manusia karena radiasi nuklir akan berbeda dengan kerusakan yang diakibatkan oleh sebab yang lain. Hal ini dikarenakan radiasi nuklir dapat menimbulkan proses ionisasi di dalam sel. Jadi pengaruh radiasi terhadap manusia adalah melalui kerusakan sel manusia dan kerusakan ini melalui 4 tahap.

a. Kerusakan Proses Ionsiasi

Tubuh manusia apabila terpapar oleh radiasi akan menyerap energi radiasi dan

penyerapan ini dilakukan oleh sel. Proses penyerapan energi radiasi berlangsung amat sangat singkat, kira-kira dalam waktu 10^{-16} detik. Ion-ion sekunder akan menyerang molekul air dan akan terjadi ionisasi tersier. Ionisasi yang terjadi baru merupakan awal kerusakan molekul air di dalam sel, kemudian dari sel akan merusak ke sistem jaringan secara lambat^[3].

b. Kerusakan Proses Kimiafisika

Akibat terjadinya proses ionisasi primer, sekunder, tersier maupun ionisasi tersier maka kerusakan molekul air di dalam sel akan berlanjut dari dalam waktu yang sangat singkat, kira-kira dalam orde 6–10 detik, ion-ion yang terbentuk akan bereaksi dengan molekul-molekul air yang belum terionisasikan^[3].

c. Kerusakan Proses Biokimia

Dalam proses biokimia ini reaksinya berlangsung singkat yakni sekitar beberapa detik dimana radikal bebas dan peroksida akan menyerang molekul organik sel. Selain juga akan menyerang inti sel yang terdiri dari kromosom-kromosom. Molekul penting yang diserang oleh radikal bebas dan peroksida antara lain molekul protein, molekul enzim, molekul lemak, molekul karbohidrat, molekul DNA dan Kromosom^[3].

d. Kerusakan Proses Biologi

Kerusakan karena proses biologis merupakan proses kerusakan terakhir setelah proses ionisasi, proses kimia fisika dan proses biokimia. Kerusakan karena proses biologis yang terjadi dapat bermacam-macam, dari yang berorde beberapa puluh menit sampai yang berorde beberapa puluh tahun. Hal ini tergantung pada tingkat kerusakan sel akibat proses-proses sebelumnya. Kerusakan sel dapat mengakibatkan kematian sel secara langsung karena radiasi yang sangat kuat, pembelahan sel jadi terhambat atau tertunda dan terjadinya perubahan permanen pada sel anak setelah terjadi pembelahan pada sel induk^[3].

Batas Dosis yang Diterima Tubuh

Bagi Indonesia, ketentuan NBD tersebut sudah ditetapkan oleh Badan Pengawasan Tenaga Nuklir (BAPETEN) seperti contoh berikut ini dikutip sebagian dari Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir dapat dilihat pada Tabel 1^[2].

Tabel 1 Nilai Batas Dosis (NBD)

Keterangan Dosis	Nilai Batas Dosis (mSv)
Dosis Ekuivalen rata-rata periode 5 Tahun	≤ 20
Dosis Ekuivalen terakumulasi dalam 5 tahun	≤ 100
Dosis Ekuivalen dalam 1 tahun	≤ 50
Dosis Efektif lensa mata rata-rata 1 tahun	≤ 50
Dosis Efektif kulit per tahun	≤ 500
Dosis Efektif tangan dan kaki per tahun	≤ 500

Faktor-Faktor Proteksi Radiasi

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keselamatan radiasi, maka diperlukan suatu pemahaman pengendalian radiasi secara teknik terhadap paparan radiasi.

a. Faktor Pembatasan Waktu

Laju dosis radiasi yang berasal dari sumber radioaktif tergantung pada energi dari radionuklida serta massanya. Jika waktu paparan dikurangi, maka total paparan akan berkurang secara langsung, hal tersebut berbanding linier dengan besarnya dosis radiasi yang diterima, sehingga semakin banyak waktu yang dibutuhkan untuk bekerja di sekitar paparan radiasi, maka semakin banyak dosis yang akan diterima. Beberapa prinsip keselamatan yang dilakukan melalui pembatasan waktu

diantaranya adalah mengurangi waktu kontak langsung dengan radioaktif, merotasi pekerja, dan membatasi area radiasi, faktor waktu ini akan menghasilkan suatu laju dosis untuk menemukan nilai dosis^[5].

b. Faktor Jarak

Setiap radionuklida memiliki jarak pancar radiasi yang berbeda. Intensitas radiasi dapat berkurang dengan peningkatan jarak antara sumber radiasi dan pekerja. Pengurangan ini dikenal dengan *Inverse Square Law*, dimana intensitas radiasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dosis sehingga semakin dekat dengan sumber radiasi, maka semakin besar dosis yang akan diterima, tetapi semakin jauh dari sumber radiasi semakin kecil dosis yang akan diterima^[5].

c. Shielding

Pengaruh tingkat radiasi berbanding secara eksponensial dengan ketebalan perisai sehingga jika menggunakan perisai yang diletakkan antara orang tersebut dengan sumber radiasi, maka radiasi yang akan diterima akan lebih kecil dibandingkan jika tidak menggunakan perisai, karena perisai radiasi mampu mengurangi radiasi yang mengenyainya. Perisai yang tepat dapat menurunkan secara eksponensial paparan radiasi gamma. Tenth Value Layer (TVL) adalah perisai radiasi sehingga paparan radiasi yang dihasilkan setelah melewati perisai menjadi 1/10 nya dan Half Value Layer (HVL) adalah perisai radiasi sehingga paparan radiasi yang dihasilkan setelah melewati perisai menjadi 1/2 nya^[5].

METODOLOGI

Tata Cara Penelitian

Untuk mendapatkan nilai dosis ekuivalen seluruh tubuh (DEST) atau Hp (10) maka Thermoluminescence Detector (TLD) milik masing-masing petugas (personal) dibaca dengan menggunakan

TLD Reader milik Balai Pengawasan Fasilitas Kesehatan (BPFK) yang berlokasi di Jakarta selama tiga bulan sekali dengan hasil output adalah dosis ekuivalen mSv/Tahun. Hasilnya kemudian disesuaikan dengan Nilai Batas Dosis (NBD) yang telah ditetapkan. Lalu setelah itu dosis ekuivalen kemudian disesuaikan dengan laju dosis petugas radiasi setiap jamnya diukur dengan alat Surveymeter setiap satu bulan sekali di area ruang paparan radiasi. Data dari hasil dosis ekuivalen dan laju dosis kemudian dianalisis.

Selain itu sebagai tambahan maka dihitung pula kemungkinan jarak petugas radiasi di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung terhadap jangkauan paparan radiasi, khususnya ruang paparan radiasi yang memiliki sumber paparan dari radioaktif, seperti ruang brakhiterapi dan ruang Cobalt. Seluruh hasil perhitungan tersebut kemudian akan dikelompokkan berdasarkan sub bidang tugas dari masing-masing petugas yang ada di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung.

Analisis Dosis Ekuivalen

Data dosis ekuivalen Hp (10) yang diperoleh dari WinREMS *Software* merupakan data dosis ekuivalen yang diterima oleh petugas radiasi di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung dengan satuan (mSv/Tahun). Data tersebut kemudian di *input* kembali. Hasil dari input data TLD ini kemudian dihitung dan diperoleh nilai dosis ekuivalen terendah, rerata dan tertinggi dari para petugas radiasi yang bekerja selama tahun 2012–2016.

Analisis Laju Dosis

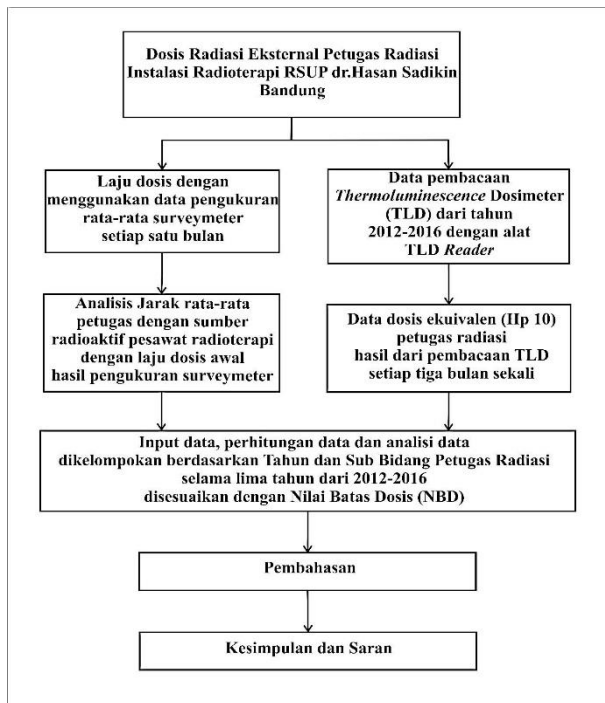
Laju dosis diukur dengan alat surveymeter setiap satu bulan sekali atau rata-rata setiap tahunnya. Nilai Batas Dosis (NBD) pekerja radiasi per jam adalah 10 μ Sv

sehingga laju dosis maksimal yang diterima pekerja radiasi adalah 10µSv/jam.

Analisis Faktor Jarak

Faktor jarak merupakan prediksi hasil analisis dari perolehan data dosis ekuivalen dan laju dosis, karena jarak petugas dengan sumber radiasi akan meningkatkan dosis ekuivalen dan laju dosis yang diterima oleh petugas tersebut. Jarak tersebut dihitung dari tiga sumber radioaktif pesawat radioterapi yaitu jangkauan dari pesawat teleterapi cobalt, jangkauan dari pesawat brakhiterapi High Dose Rate (HDR) dan jangkauan pesawat brakhiterapi Medium Dose Rate (MDR). Untuk menentukan laju dosis awal pada perhitungan jarak digunakan data hasil pengukuran surveymeter.

Bagan Alur Penelitian



PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

Dosis Ekuivalen Rerata Petugas Radiasi

Dari beberapa petugas radiasi yang ada di Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung terdapat sub bidang profesi yang berpotensi terpapar radiasi yang tinggi.

Tabel 2. Nilai DEST pada Setiap Bidang Kerja

Bidang	Nilai Hp (10) Rerata (mSv/Tahun)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Dokter	0,025	0,06	0,016	0,007	0,04
Fisika Medik	0,027	0,085	0,015	0,015	0,05
Operator	0,026	0,07	0,025	0,022	0,056
Perawat	0,03	0,082	0,014	0,008	0,055
Radiografer	0,028	0,045	0,01	0,01	0,04
Teknisi	0,025	0,08	0,02	0,015	0,03
Costumer Service	-	-	-	0,01	0,07

petugas radiasi yang memiliki rerata nilai Hp (10) tertinggi sepanjang tahun 2012-2016 yaitu 2012 adalah Perawat (nilai Hp (10) rerata sebesar 0,03 mSv/tahun), 2013 adalah Fisikawan Medik (Nilai Hp (10) rerata sebesar 0,085 mSv/tahun) memiliki nilai hampir sama dengan perawat (Nilai Hp (10) rerata sebesar 0,082 mSv/tahun), 2014-2015 adalah Operator (Nilai Hp (10) Rerata sebesar 0,025 dan 0,022 mSv/tahun) kemudian 2016 adalah Costumer Service (Nilai Hp (10) Rerata sebesar 0,07 mSv/tahun). Jika diamati berdasarkan bidang profesinya, bidang profesi yang memperoleh Nilai DEST Rerata tertinggi cukup beragam (selalu berganti nilai rerata tertinggi disetiap tahunnya).

Besar Laju Dosis Radiasi Rerata

Petugas Instalasi Radioterapi RSUP dr.Hasan Sadikin Bandung mulai bekerja pada sekitar pukul 08.00 WIB hingga pukul 16.00 WIB (7 jam), kemudian apabila

petugas tersebut bekerja maksimal selama satu bulan penuh, maka jam kerja petugas yaitu sekitar 154 jam dalam satu bulan. Untuk mengetahui besar laju dosis setiap jamnya maka besarnya nilai dosis ekuivalen rerata Hp (10) yang diterima setiap petugas selama triwulan (yang diperoleh nilai dari TLD Reader) dibagi dengan jam kerja maksimal petugas selama satu bulan kemudian hasil pembagian dosis tersebut akan menjadi data laju dosis yang diterima (satuan $\mu\text{Sv}/\text{Jam}$).

Pengukuran lain untuk menentukan laju dosis (D_t) adalah dengan uji paparan radiasi setiap bulannya (Monthly) yang rutin dilakukan oleh fisika medik terhadap pesawat teleterapi yang bersumber dari radioaktif dengan menggunakan alat detektor Surveymeter. Alat tersebut akan mendeteksi secara langsung dosis radiasi yang terpapar di sekitar ruang penyinaran radiasi sehingga dengan metode perhitungan kedua tersebut akan diperoleh besar laju dosis rata-rata dalam triwulan. Satuan untuk laju dosis adalah $\mu\text{Sv}/\text{jam}$.

Tabel 3. Laju Dosis (D_t) Petugas Radiasi

Sub Bidang	Laju Dosis (D_t) ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Dokter	0,17	0,41	0,1	0,1	0,31
Fisika Medik	0,18	0,55	0,1	0,11	0,36
Operator	0,17	0,37	0,2	0,14	0,4
Perawat	0,2	0,55	0,1	0,13	0,36
Radiografer	0,18	0,3	0,1	0,1	0,37
Teknisi	0,16	0,51	0,06	0,1	0,27
Costumer Service	-	-	-	0,1	0,4

Maka dapat diketahui bahwa laju dosis tertinggi yang diterima oleh masing-masing petugas terjadi pada tahun 2013. Tingginya aktivitas radiasi pada salah satu pesawat te leterapi serta penggunaan pesawat teleterapi yang terlalu sering akan

menyebabkan peningkatan laju dosis yang diterima oleh petugas.

di tahun 2013 yang diperoleh oleh fisika medik dengan nilai Hp (10) sebesar 0,085 mSv/tahun dimana hal tersebut diakibatkan oleh laju dosis yang diterima petugas tersebut yaitu sebesar 0,55 $\mu\text{Sv}/\text{jam}$. Sebaliknya, jika dilihat dari tabel di atas maka laju dosis terendah yang diterima oleh petugas terjadi di tahun 2014 dan 2015. Kecenderungan penurunan nilai laju dosis tersebut diakibatkan oleh berkurangnya aktivitas radiasi dari pergantian sumber radioaktif Co-60 setelah tahun 2013, sehingga laju dosis pada tahun 2014 dan 2015 menjadi menurun. Selain itu, penurunan jumlah pasien pada tahun 2014 dan 2015 menyebabkan kegiatan kerja petugas radiasi menjadi berkurang dan interaksi antara petugas dengan pesawat teleterapi tidak terlalu signifikan yang kemudian menyebabkan terjadinya penurunan dosis yang diterima oleh petugas.

Analisis Jarak Rerata Petugas dengan Sumber Radiasi

Jarak rerata (R) tersebut merupakan probabilitas dari perhitungan antara laju dosis awal pengukuran dengan laju dosis yang diterima petugas radiasi. Hal tersebut dilakukan untuk menganalisis jangkauan dosis radiasi yang diterima oleh petugas berdasarkan sub bidangnya. Berdasarkan paparan radiasi dari sumber radioaktifnya, dihasilkanlah pengukuran laju dosis yang berbeda. Ketiga sumber radioaktif tersebut adalah Cobalt-60, Iridium-192 dan Cesium-137 yang akan memancarkan radiasi partikel β - ketika terjadi proses peluruhan pada sumber radioaktif dan akan terus menerus memancarkan radiasi sinar γ sebelum menjelang waktu paruhnya.

Cobalt-60 merupakan sumber paparan radiasi dari pesawat teleterapi Cobalt-60 (sesuai namanya) sementara Iridium-192 dan Cesium-137 merupakan

sumber paparan radiasi dari Brakhiterapi, Ir-192 biasanya digunakan untuk terapi kanker dan tumor pada dosis yang tinggi atau High Dose Rate (HDR) karena Ir-192 memiliki beberapa nilai spektrum radiasi tertentu dan Cs-137 digunakan untuk kebutuhan terapi kanker dan tumor pada dosis yang rendah *Low Dose Rate* (LDR) dan sedang *Medium Dose Rate* (MDR).

Tabel 4. Analisis Jarak Sumber Cobalt

Sub Bidang	Sumber Cobalt-60 (meter)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Dokter	1,2	0,7	1,5	1,5	0,9
Fisika Medik	1,1	0,65	1,5	1,4	0,8
Operator	1,2	0,8	1,1	1,3	0,78
Perawat	1,1	0,64	1,5	1,3	0,8
Radiografer	1,1	0,7	1,5	1,5	0,8
Teknisi	1,1	0,67	1,9	1,5	1
Customer Service	-	-	-	1,5	0,76

Tabel 5. Analisis Jarak Sumber Cesium

Sub Bidang	Sumber Cesium-137 (meter)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Dokter	1,24	0,8	1,6	1,6	1
Fisika Medik	1,2	0,7	1,6	1,5	0,85
Operator	1,24	0,84	1,1	1,4	0,8
Perawat	1,14	0,7	1,6	1,4	0,85
Radiografer	1,2	0,66	1,6	1,6	0,84
Teknisi	1,3	0,7	2	1,6	1
Customer Service	-	-	-	1,6	0,8

Tabel 6. Analisis Jarak Sumber Iridium

Sub Bidang	Sumber Iridium-192 (meter)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Dokter	1,5	1	2	2	1,1
Fisika Medik	1,5	0,85	2	1,7	1
Operator	1,5	1	1,4	1,7	1
Perawat	1,4	0,85	2	1,75	1
Radiografer	1,5	0,8	2	2	1
Teknisi	1,6	0,9	2,6	2	1,2
Customer Service	-	-	-	2	1

Pada tahun 2013 beberapa petugas memiliki jarak yang paling mendekati ketiga sumber radiasi, yaitu fisika medik dengan perawat memiliki kecenderungan rata-rata mendekati jarak sumber radiasi Cobalt-60 sebesar 0,65 meter dan 0,64 meter,

sementara radiografer di tahun yang sama cenderung lebih mendekati sumber Cesium-137 dengan jarak 0,66 meter dan Iridium-192 0,8 meter. Hal tersebut menjadi relevan jika melihat besarnya dosis ekuivalen rata-rata dan laju dosis rata-rata yang diterima fisika medik dan perawat di tahun 2013 dimana dosis ekuivalen rata-rata fisika medik di tahun tersebut adalah sebesar 0,08 mSv/tahun dan laju dosis rata-rata sebesar 0,55 μ Sv/jam, penyebabnya yaitu karena fisika medik dan perawat lebih dekat dengan sumber radioaktif Cobalt-60.

Radiografer memiliki jarak paling dekat dengan sumber Cesium-137 dan Iridium-192, hal tersebut dapat disebabkan karena kedua sumber radioaktif tersebut berasal dari pesawat penyinaran brakhiterapi dimana pasien dengan terapi brakhiterapi memang cenderung yang paling banyak membutuhkan citra rontgen guna untuk melakukan *Treatment Planing System* (TPS).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Petugas operator memiliki dosis rerata tertinggi sepanjang waktu 2012 hingga 2016 dengan dosis ekuivalen sebesar 0,206 mSv/Tahun.
2. Fisikawan Medik dan Perawat menerima laju dosis radiasi eksternal yang tinggi di tahun 2013 yaitu sebesar 0,55 μ Sv/jam dimana tahun 2013 adalah tahun dengan nilai laju dosis tertinggi dibandingkan dengan tahun lainnya yaitu sebesar 0,55 μ Sv/jam.
3. Di tahun 2013 seluruh bidang petugas radiasi memiliki jarak rata-rata terdekat dengan sumber radioaktif pesawat radioterapi, namun yang memiliki kecenderungan paling dekat dengan sumber Cobalt-60 yaitu fisika medik dengan jarak sekitar 0,65 meter

kemudian radiografer cenderung lebih dekat dengan sumber Cesium-137 dengan jarak sekitar 0,66 meter dan dekat dengan sumber Iridium-192 dengan jarak sekitar 0,8 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Purwaningtyas, 2000, Evaluasi Penerimaan Dosis Paparan Radiasi Pekerja, di Bidang Akselerator, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Maju, BATAN, Yogyakarta.
- [2]. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 04 Tahun 2013. Tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, BAPETEN, Jakarta.
- [3]. Wardhana, A.W., 2007, Teknologi Nuklir PROTEKSI DAN APLIKASINYA, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [4]. Knoll, K., 1989, Fisika Modern (Terjemahan Hans Wopspakirk), Erlangga, Jakarta.
- [5]. Saphiro, J., 1981, Radiation Protection (A Guide for Scientist and Physician), HU Press, England.