

## Laju paparan dan dosis radiasi dari pasien terapi kelainan kelenjar tiroid dengan pemberian radiofarmaka Iodium-131

Ahmad Mutohar<sup>1)</sup>, Wahyu Setiabudi<sup>1)</sup>, Rini Shintawati<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

<sup>2)</sup> Departemen Ilmu Kedokteran Nuklir dan Pencitraan Molekuler, RSUP. Dr. Hasan Sadikin, Bandung

E-mail : [ahmadmutohar@st.fisika.undip.ac.id](mailto:ahmadmutohar@st.fisika.undip.ac.id)

### ABSTRACT

Research about exposure and dose rate from patients with thyroid gland disorders therapy who received radiopharmaceutical Iodine-131 is done by direct measurement using a survey meter. In this study, the exposure rate collected from 37 patients who received doses of radiopharmaceutical therapy with activity  $\leq 30$  mCi and 13 patients who received doses of radiopharmaceutical therapy with activity  $> 30$  mCi. Exposure rate of each patient was subsequently changed in the form of the dose rate. The results obtained that all patients who received a dose of a radiopharmaceutical with activity  $\leq 30$  mCi, produce dose rate below the maximum extent permitted to leave the hospital. While patients who received doses with activity  $> 30$  mCi, produce a dose rate above generate maximum extent permitted to leave the hospital. Besides that, the research also analyzed the reduction of dose rate from each patient. A decrease of dose rate (within 1 hour after administration of radiopharmaceutical) is affected by the excretion rate and rate of uptake of iodine in the blood. Specially, patient who received a dose with activity  $> 30$  mCi, effective half-life value is determined from a decrease of the dose rate each patient. The results obtained that effective half-life of I-131 in the body of every patient in the range of 6 to 14 hours. Patient H had the shortest effective half-life and patient M has longest effective half-life. The difference of effective half-life of I-131 affected by biological elimination/ biological half-life of each patients.

**Keywords:** Exposure rate, dose rate, Iodine-13 therapy patients, effective half-life

### ABSTRAK

Penelitian laju paparan dan dosis radiasi dari pasien terapi kelainan kelenjar tiroid yang menerima radiofarmakan Iodium-131 dilakukan dengan melakukan pengukuran secara langsung menggunakan survey meter. Pada penelitian ini didapatkan data laju paparan dari 37 pasien terapi yang menerima dosis radiofarmaka dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi dan 13 pasien terapi yang menerima dosis radiofarmaka dengan aktivitas  $> 30$  mCi. Data laju paparan dari masing-masing pasien selanjutnya diubah dalam bentuk laju dosis. Hasil yang diperoleh, semua pasien yang menerima radiofarmaka dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi menghasilkan laju dosis dibawah batas maksimal yang diizinkan untuk meninggalkan rumah sakit sedangkan pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $> 30$  mCi menghasilkan laju dosis diatas batas maksimal yang diizinkan untuk meninggalkan rumah sakit. Selain hal tersebut, dalam penelitian ini juga menganalisa penurunan laju dosis dari setiap pasien. Penurunan laju dosis (dalam waktu 1 jam setelah pemberian radiofarmaka) dipengaruhi oleh laju ekresi dan cepat lambatnya penyerapan iodium ke dalam darah. Khusus pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $> 30$  mCi, nilai waktu paruh efektifnya dicari dari data penurunan laju dosis untuk masing-masing pasien. Hasil yang didapat, waktu paruh efektif Iodium-131 dalam tubuh setiap pasien berada pada kisaran 6 sampai dengan 14 jam. Pasien H memiliki waktu paruh efektif terpendek dan pasien M memiliki waktu paruh efektif terpanjang. Perbedaan waktu paruh efektif Iodium-131 dari setiap pasien dipengaruhi oleh eliminasi biologis/waktu paruh biologis dari setiap pasien yang berbeda-beda pula.

**Kata Kunci :** Laju paparan, laju dosis, pasien terapi Iodium-131, waktu paruh efektif

### PENDAHULUAN

Pelayanan kedokteran nuklir menurut KEPMENKES tahun 2009 didefinisikan sebagai pelayanan penunjang dan/atau terapi di bidang kesehatan yang memanfaatkan

sumber radiasi terbuka dari disintegrasi inti radionuklida yang meliputi pelayanan diagnostik *in-vivo* dan *in-vitro* melalui pemantauan proses fisiologi, metabolisme dan terapi radiasi internal [1]. Terapi dalam kedokteran nuklir merupakan metode terapi

kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radionuklida dan/atau radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien [2]. Radiofarmaka yang digunakan dalam terapi kedokteran nuklir adalah radiofarmaka khusus yang mampu memancarkan partikel alfa ( $\alpha$ ) atau beta ( $\beta$ ). Pada umumnya radiofarmaka yang digunakan untuk kepentingan terapi harus memiliki waktu paruh yang cukup panjang (sekitar 1 minggu). Iodium-131 merupakan salah satu radiofarmaka yang menghasilkan emisi beta dan gamma. selain itu Iodium-131 memiliki waktu paruh 8,05 hari, sehingga Iodium-131 ideal apabila dimanfaatkan sebagai radiofarmaka dalam terapi kedokteran nuklir.

Penggunaan radiasi terbuka pada pelayanan terapi kedokteran nuklir membutuhkan pengawasan dan penanganan secara khusus. Salah satu aspek proteksi radiasi dalam kedokteran nuklir adalah *release patient* atau mengizinkan pasien pasca terapi kedokteran nuklir untuk meninggalkan rumah sakit. BAPETEN selaku badan yang bertanggung jawab atas pengawasan pemanfaatan tenaga nuklir di Indonesia menetapkan dosis efektif yang diizinkan diterima oleh anggota masyarakat adalah maksimal 1 mSv dalam kurun waktu 1 tahun. Oleh karena itu pada PERKA BAPETEN No. 17 tahun 2012 pasal 51 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir menyatakan bahwa aktivitas maksimum radionuklida untuk pasien terapi yang diperbolehkan bersosialisasi/meninggalkan rumah sakit adalah sebesar 1.100 MBq (30 mCi) untuk pemberian Iodium-131.

Penetapan batas maksimal aktivitas radiasi yang diizinkan meninggalkan rumah sakit dari pasien pasca terapi kedokteran nuklir setiap negara berbeda beda. *Nuclear Regulatory Commission (NRC)* yang merupakan lembaga pengawasan tenaga nuklir Amerika Serikat menetapkan bahwa dengan aktivitas < 1.100 MBq ( 30 mCi) pemberian Iodium-131 dan laju dosis < 50  $\mu$ Sv/jam dalam jarak 1 m pasien terapi diizinkan untuk

bersosialisasi. Jepang menetapkan batas aktivitas 500 MBq atau laju dosis < 30  $\mu$ Sv/jam dalam jarak 1 m [3]. Peraturan terbaru negara Sri Lanka menyebutkan bahwa boleh tidaknya pasien terapi Iodium-131 untuk bersosialisasi apabila aktivitas radiofarmaka yang diberikan  $\leq$  1,85 GBq (50 mCi) dan dengan laju dosis  $\leq$  30  $\mu$ Sv/jam dengan jarak pengukuran 1 m [4]. Berdasarkan ketentuan tersebut dapat diketahui bahwa selain parameter aktivitas radiasi, terdapat parameter laju dosis radiasi yang digunakan sebagai standar penetapan batas maksimal pasien untuk diizinkan meninggalkan rumah sakit pasca terapi kedokteran nuklir.

Di Indonesia melalui badan yang berwenang mengatur pemanfaatan radiasi, ditetapkan parameter berdasarkan aktivitas radiasinya saja. Oleh karena itu perlu dilakukannya pengukuran laju dosis dari pasien yang menerima terapi Iodium radioaktif untuk mengetahui apakah laju dosis yang dihasilkan oleh pasien terapi (yang dianggap aman untuk meninggalkan rumah sakit berdasarkan aktivitas radiofarmaka dalam tubuh pasien) juga aman sesuai peraturan internasional yang berlaku. Pengukuran laju dosis pasien terapi Iodium-131 dari waktu ke waktu dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik atau ciri-ciri radiofarmaka dalam medium biologis (dalam hal ini pasien terapi). Eliminasi radiofarmaka dalam tubuh pasien terapi tentunya berbeda dengan eliminasi fisik radiofarmaka. Oleh sebab itu perlu diketahui juga faktor-faktor yang mempengaruhinya. Selain itu, penurunan laju dosis dari waktu ke waktu dapat pula digunakan untuk menentukan waktu paruh efektif dari masing-masing pasien. Waktu efektif adalah waktu yang dibutuhkan agar aktivitas radiofarmaka dalam tubuh berkurang setengah aktivitas awal. Dengan mengetahui waktu paruh efektif dari beberapa pasien, waktu paruh tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan masa isolasi pasien.

## DASAR TEORI

### Iodium-131

Iodium-131 merupakan salah satu iodium radioaktif yang dimanfaatkan dalam kedokteran nuklir untuk terapi hipertiroid dan kanker tiroid. Syarat sebuah radiofarmaka dapat digunakan untuk kepentingan terapi kedokteran nuklir adalah menghasilkan emisi alfa atau beta dan memiliki waktu paruh sekitar satu minggu. Iodium-131 memenuhi klasifikasi tersebut selain menghasilkan emisi beta dan gamma, Iodium-131 juga memiliki waktu paruh 8,05 hari [5]. Emisi partikel beta yang dihasilkan oleh Iodium-131 berenergi maksimal 0,61 MeV dengan rata rata energi sebesar 0,192 MeV dan dengan kemampuan menembus jaringan dengan ketebalan 0,8 mm. Sedangkan radiasi gamma yang dihasilkan oleh Iodium-131 memiliki energi 364 KeV [6].

### Terapi Iodium Radioaktif

Satu-satunya organ tubuh manusia yang membutuhkan iodium adalah kelenjar tiroid. Iodium dalam tubuh yang dibawa melalui darah akan diserap oleh kelenjar tiroid untuk menghasilkan hormon tiroid. Ketika sebuah iodium radioaktif (Iodium-131) masuk kedalam tubuh, iodium tersebut akan terkonsentrasi pada sel-sel tiroid. Radiasi dari iodium tersebut dapat membunuh kelenjar tiroid dan sel-sel tiroid apa saja (termasuk sel kanker) yang menyerap iodium radioaktif. Terapi iodium radioaktif hanya dapat diterapkan pada pasien yang menderita kanker tiroid papiler dan folikel. Karena pada kanker jenis ini sel-sel kanker berkerja secara aktif dalam mengikat iodium. Sedangkan untuk jenis kanker lain seperti anaplastik (*undifferentiated*), tidak dapat mengikat iodium dalam darah [7]. Dalam kasus hipertiroid, terapi iodium radioaktif digunakan untuk membunuh sel tiroid yang bersifat hiperaktif, sehingga jumlah hormon tiroid yang dihasilkan menjadi normal kembali [8].

### Aktivitas Radioaktif

Aktivitas zat radioaktif menyatakan laju peluruhan inti radioaktif per satuan waktu. Satuan aktivitas adalah *Becquerel* (Bq), yang menyatakan satu disintegrasi per satu detik :  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Satuan lama dari aktivitas adalah *Currie* (Ci). Satu Ci didefinisikan sebagai aktivitas 1 gram Radium<sup>226</sup> yang melakukan peluruhan  $3,75 \times 10^{10}$  disintegrasi per sekon ( $1 \text{ Ci} = 3,75 \times 10^{10} \text{ Bq}$ ). Aktivitas radioaktif menurut hukum Peluruhan Radioaktif Eksponensial dinyatakan oleh Persamaan (1).

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

dengan  $A_0$  adalah aktivitas awal dan  $t$  adalah fungsi waktu [9].

### Waktu Paruh Radioaktif ( $T_{1/2}$ )

Waktu paruh (*half-life*) radioaktif adalah waktu yang diperlukan oleh sebuah radioisotop untuk meluruh menjadi setengah aktivitas mula mula. Waktu paruh ( $T_{1/2}$ ) dirumuskan dengan persamaan (2)[10].

$$T_{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2)$$

dengan  $\lambda$  adalah konstanta peluruhan. Apabila dihubungkan dengan Hukum Peluruhan Radioaktif Eksponensial, waktu paruh dapat dirumuskan menjadi Persamaan (3).

$$A = A_0 e^{-\frac{0,693}{T_{1/2}} t} \quad (3)$$

### Waktu Paruh Efektif ( $T_{\text{eff}}$ )

Apabila suatu radiofarmaka dimasukkan ke dalam medium biologis (manusia), eliminasi radiofarmaka tidak hanya berdasarkan waktu paruh fisis radiofarmaka. Akan tetapi dipengaruhi oleh eliminasi biologis yang dikenal dengan istilah waktu paruh biologis. Eliminasi radiofarmaka dalam

tubuh berdasarkan waktu paruh fisis sekaligus waktu paruh biologis dinamakan waktu paruh efektif, yang dirumuskan dengan Persamaan (4) [9].

$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_{fisis}} + \frac{1}{T_{biologis}} \quad (4)$$

### Proteksi Radiasi

Dalam *Nuclear Medicine Resources Manual* [1] yang diterbitkan oleh IAEA pada tahun 2006, dijelaskan bahwa pasien terapi Iodium-131 yang dapat meninggalkan rumah sakit menghasilkan laju dosis  $\leq 70 \mu\text{Sv/jam}$  pada jarak 1 m dari pasien atau aktivitas radioaktif dalam tubuh pasien tersebut maksimal 1,2 GBq (33 mCi).

### Dosimetri

Paparan radiasi ( $x$ ) menggambarkan kemampuan radiasi sinar gamma atau sinar-x untuk menimbulkan ionisasi di udara pada volume tertentu. Laju paparan ( $\dot{X}$ ) adalah besar paparan atau ionisasi yang akan ditimbulkan oleh sinar gamma atau sinar-x di udara pada volume tertentu per satuan waktu, dengan satuan R/jam. Laju paparan dinyatakan dalam Persamaan (5).

$$\dot{X} = \frac{x}{\text{satuan waktu}} \quad (5)$$

Suatu sumber radiasi yang diketahui laju paparannya dapat ditentukan besar laju dosis serap terhadap medium menggunakan Persamaan (6).

$$\dot{D} = \dot{X}F \quad (6)$$

dengan  $F$  adalah faktor konversi (untuk proteksi radiasi nilai  $F$  adalah 1 Rad/R). Laju dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserap oleh bahan persatuan massa bahan itu per satuan waktu. Satuan laju dosis serap adalah rad/jam atau Gy/jam (1 Gy = 100 rad).

Apabila diketahui laju dosis serap dari suatu sumber radiasi, maka selanjutnya dapat ditentukan laju dosis ekivalen ( $\dot{H}$ ) dari sumber radiasi tersebut dengan memperhatikan jenis radiasi yang ditimbulkan. Laju dosis ekivalen ditentukan menggunakan Persamaan (7).

$$\dot{H} = \dot{D}W_r \quad (7)$$

dengan  $W_r$  adalah faktor bobot radiasi. Untuk radiasi gamma nilai  $W_r = 1$ . Satuan Laju dosis ekivalen adalah rem/jam atau Sv/jam (1 Sv = 100 rem).

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama 1 bulan di Departemen Ilmu Kedokteran Nuklir dan Pencitraan Molekuler RSUP. Dr. Hasan Sadikin Bandung. Subjek dalam penelitian ini adalah pasien kelainan tiroid yang menerima terapi radioaktif dengan radiofarmaka Iodium-131. Penelitian dilaksanakan dengan mengukur secara langsung laju paparan dari pasien terapi dengan menggunakan *survey meter* pada jarak 1 m. Dengan terlebih dahulu pasien diklasifikasikan berdasarkan aktivitas radiofarmaka yang diberikan. Pertama adalah pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30 \text{ mCi}$ , dan yang kedua adalah pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $> 30 \text{ mCi}$ . Pada pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30 \text{ mCi}$ , pengukuran laju paparan dilakukan dengan interval 20 menit pasca pemberian radiofarmaka sampai 1 jam setelah pemberian radiofarmaka, sedangkan untuk pasien yang menerima aktivitas  $> 30 \text{ mCi}$ , laju paparan diukur pada interval 1 hari setelah pemberian radiofarmaka (dimulai saat 0 jam setelah pemberian radiofarmaka).

Laju dosis yang dihasilkan dari masing-masing pasien disajikan dalam bentuk grafik. Sumbu-x grafik adalah waktu (menit atau jam), sedangkan sumbu-y adalah laju dosis ( $\mu\text{Sv/jam}$ ). Penyajian grafik untuk aktivitas  $\leq 30 \text{ mCi}$  dengan aktivitas  $> 30 \text{ mCi}$  berbeda. Untuk aktivitas  $\leq 30 \text{ mCi}$  disajikan dalam dua grafik, yaitu:

- a. grafik laju dosis masing-masing pasien dengan aktivitas sama,
- b. grafik laju dosis rata-rata untuk masing-masing aktivitas.

Untuk aktivitas  $> 30$  mCi, grafik disajikan dalam bentuk laju dosis rata-rata untuk masing-masing aktivitas.

Khusus untuk pasien yang mendapatkan dosis radiofarmaka dengan aktivitas  $>30$  mCi, laju paparan dan aktivitas yang diperoleh pada setiap interval 24 jam pengukuran digunakan untuk menentukan waktu paruh efektif ( $T_{eff}$ ). Setiap penurunan laju dosis dari masing-masing pasien dilakukan pendekatan grafik eksponensial dari data yang didapat. Hasil persamaan eksponensial dari masing-masing pasien, selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai  $T_{eff}$  (waktu paruh efektif) dengan mengacu pada Hukum Peluruhan Radiokatif Eksponensial. Setelah waktu paruh efektif setiap pasien diketahui, selanjutnya ditentukan waktu paruh biologis untuk masing-masing pasien.

Hasil yang diperoleh (tabel ataupun grafik) kemudian dianalisis lebih lanjut. Cara menganalisis hasil penelitian adalah:

- a. untuk grafik laju dosis rata-rata dari pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi dihubungkan dengan peraturan *release patient*/mengizinkan pasien pasca terapi Iodium-131 untuk meninggalkan rumah sakit,
- b. untuk grafik laju dosis rata-rata dari pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $> 30$  mCi dihubungkan juga dengan peraturan *release patient*/mengizinkan pasien pasca terapi Iodium-131 untuk meninggalkan rumah sakit. Kemudian dari penurunan laju dosis tersebut ditentukan hari ke berapa laju dosis dari pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $> 30$  mCi dianggap aman apabila meninggalkan rumah sakit,
- c. Grafik laju dosis dari masing-masing pasien dengan aktivitas yang sama (untuk pemberian dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi) dilihat pola penurunan dalam waktu 1 jam.

- Dari pola penurunan laju dosis dalam waktu 1 jam tersebut selanjutnya dijelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi,
- d. Tabel waktu paruh efektif (berisi aktivitas, waktu paruh efektif dan waktu paruh biologis masing-masing pasien) dilihat dan dianalisa ada atau tidaknya pengaruh aktivitas yang diberikan dan waktu paruh biologis terhadap nilai waktu paruh efektif yang dihasilkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Laju Paparan dari Pasien Terapi Iodium-131

Hasil pengukuran laju paparan radiasi dari 37 pada pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi memberikan nilai rata-rata yang ditampilkan pada Tabel 1. Selanjutnya pengukuran laju paparan radiasi dari 13 pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $> 30$  mCi diperoleh nilai rata-rata yang dirangkumkan pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Laju paparan rata-rata (jarak 1 m) pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi

No.	Aktivitas (mCi)	Laju paparan rata-rata (mR/jam)			
		$T_i$ ( $i$ dalam menit)			
		$T_0$	$T_{20}$	$T_{40}$	$T_{60}$
1	5	2,04	1,67	1,62	1,38
2	6	2,03	2,17	2,12	2,00
3	7	1,71	1,48	1,46	1,51
4	8	1,96	1,90	1,82	1,75
5	10	2,45	2,40	2,34	2,26
6	12	3,05	2,67	2,64	2,51
7	14	3,39	3,27	3,13	3,09
8	15	2,35	2,19	2,11	2,03
9	30	5,16	5,01	4,74	4,54

**Tabel 2.** Laju paparan rata-rata (jarak 1 m) pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas > 30 mCi

No.	Aktivitas (mCi)	Laju paparan rata-rata (mR/jam)		
		$T_i$ ( $i$ dalam jam)		
		$T_0$	$T_{24}$	$T_{48}$
1	80	18,83	4,56	2,23
2	150	28,47	7,07	2,79

Pada Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada saat 0 menit sampai 1 jam pasca pemberian radiofarmaka, pasien yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi menghasilkan laju paparan  $\leq 5$  mR/jam. Pasien yang menerima dosis dengan aktivitas 80 mCi menghasilkan laju paparan rata-rata 18,83 mR/jam pada saat 0 jam, 4,56 mR/jam setelah 24 jam, dan 2,23 mR/jam setelah 48 jam pasca pemberian radiofarmaka. Serta pasien yang menerima dosis dengan aktivitas 150 mCi menghasilkan laju paparan rata-rata 28,47 mR/jam saat 0 jam, 7,07 mR/jam saat 24 jam, serta 2,79 mR/jam pada saat 48 jam setelah pemberian radiofarmaka.

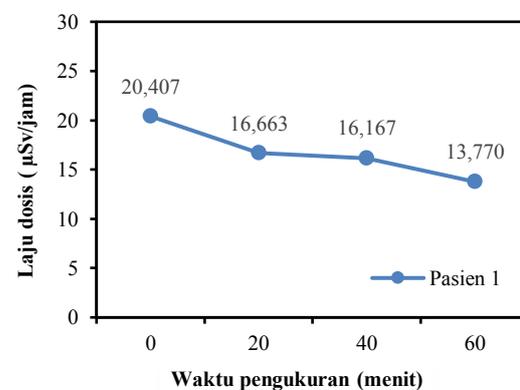
Dalam proteksi radiasi, laju paparan tidak dapat menjelaskan besarnya kerusakan yang akan ditimbulkan oleh suatu sumber radiasi terhadap medium biologis (manusia). Oleh karena itu data laju paparan yang diperoleh harus dikonversi terlebih dahulu dalam laju dosis ekuivalen. Dosis ekuivalen merupakan besaran dosis yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi untuk mencerminkan resiko terkait dosis radiasi yang diterima oleh individu berdasarkan jenis sumber radiasinya

### Laju Dosis dari Pasien Terapi Iodium-131

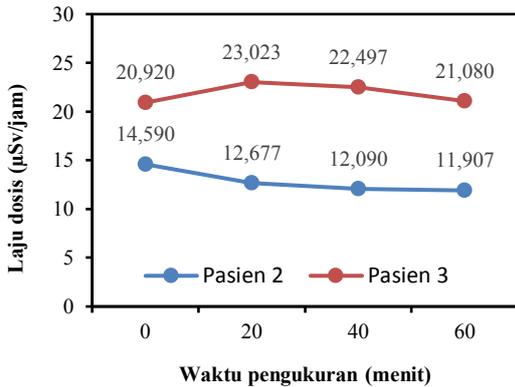
Data laju dosis hasil konversi dari laju paparan pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi disajikan dalam bentuk grafik untuk masing-masing aktivitas (5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15, dan 30 mCi). Grafik laju dosis efektif untuk aktivitas 5 mCi, 6 mCi, 8

mCi dan 12 mCi dapat dilihat berturut-turut pada Gambar 1, Gambar 2, Gambar 3 dan Gambar 4.

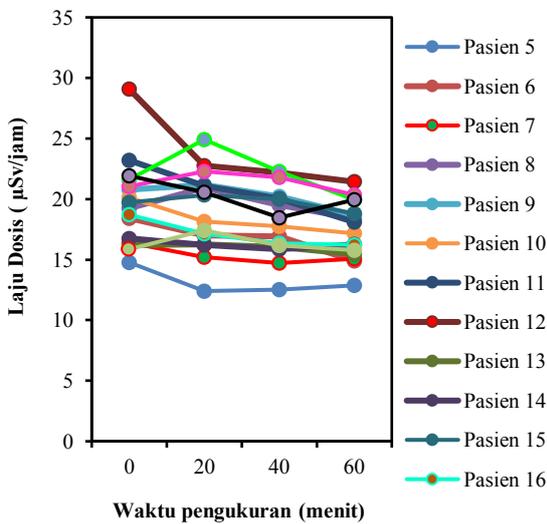
Berdasarkan grafik-grafik laju dosis dari pasien terapi Iodium-131 yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi, dapat dilihat bahwa penurunan laju dosis dalam interval waktu 20 menit pada setiap pasien bersifat tidak tetap. Dalam interval waktu 1 jam setelah pemberian radiofarmaka, laju dosis dari setiap pasien rata-rata mengalami penurunan dari laju dosis awal (0 menit pemberian radiofarmaka). Penurunan laju dosis cukup besar terlihat pada pasien-1 (dengan aktivitas 5 mCi), yaitu: 6,637  $\mu$ Sv/jam atau 32,5 % dari laju dosis awal, pasien-12 (dengan aktivitas 8 mCi), yaitu: 7,65  $\mu$ Sv/jam atau 26 % dari laju dosis awal. Penurunan laju dosis yang mencapai 32,5 % dari laju dosis awal dalam waktu 1 jam dapat disebabkan oleh laju ekskresi pasien. Iodium radioaktif yang masuk kedalam tubuh pasien akan diikat oleh darah dan diedarkan ke seluruh tubuh. Darah yang kaya akan iodium radioaktif tersebut selanjutnya diedarkan ke seluruh tubuh. Sisa iodium dalam darah yang tidak dibutuhkan oleh tubuh selanjutnya disaring oleh ginjal untuk dibuang melalui urin. Urin yang dihasilkan dalam proses tersebut secara otomatis akan terkontaminasi oleh zat radioaktif. Semakin banyak urin yang keluar dari tubuh pasien, maka semakin besar juga zat radioaktif dalam tubuh pasien yang akan terbawa keluar.



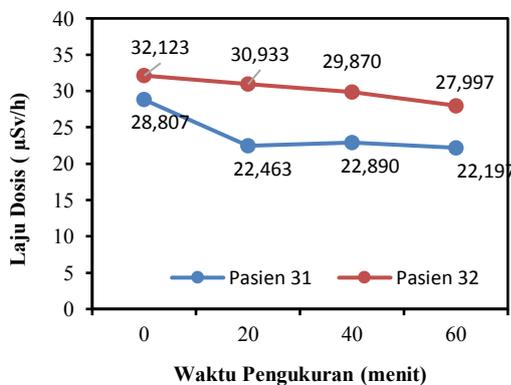
**Gambar 1.** Grafik laju dosis (pada jarak 1 m) dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas 5 mCi



Gambar 2. Grafik laju dosis (pada jarak 1 m) dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas 6 mCi



Gambar 3. Grafik laju dosis (pada jarak 1 m) dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas 8 mCi

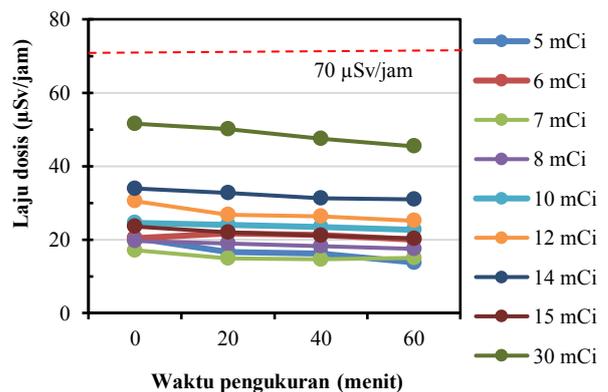


Gambar 4. Grafik laju dosis (pada jarak 1 m) dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas 12 mCi

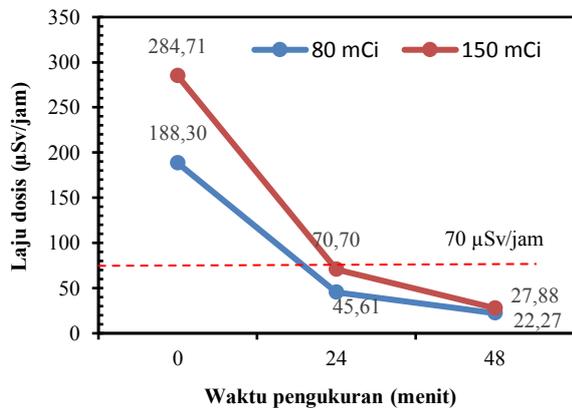
Dari grafik-grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa beberapa pasien mengalami kenaikan laju dosis pada pengukuran 20 menit dan ada juga pasien yang mengalami kenaikan pada pengukuran setelah 40 menit pemberian radiofarmaka. Kenaikan nilai laju dosis tersebut dapat dipengaruhi oleh cepat lambatnya pengikatan iodium dalam darah dan penyerapan iodium dalam tiroid.

### Hubungan Aktivitas dan Laju Dosis dari Pasien Iodium-131 terhadap Peraturan tentang Release Patient/Mengizinkan Pasien untuk Meninggalkan Rumah Sakit

Laju dosis rata-rata dari pasien terapi Iodium-131 untuk aktivitas  $\leq 30$  mCi ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5. Dari grafik tersebut, dapat diketahui bahwa pasien terapi yang menerima radiofarmaka Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi, menghasilkan laju dosis rata-rata yang nilainya dibawah 70  $\mu\text{Sv/jam}$ , yang merupakan batas maksimal pasien diizinkan untuk meninggalkan rumah sakit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pasien yang mendapat dosis terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi menghasilkan laju dosis yang aman untuk anggota masyarakat yang berada di sekitar pasien.



Gambar 5. Grafik laju dosis rata-rata dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi (pada jarak 1 m)



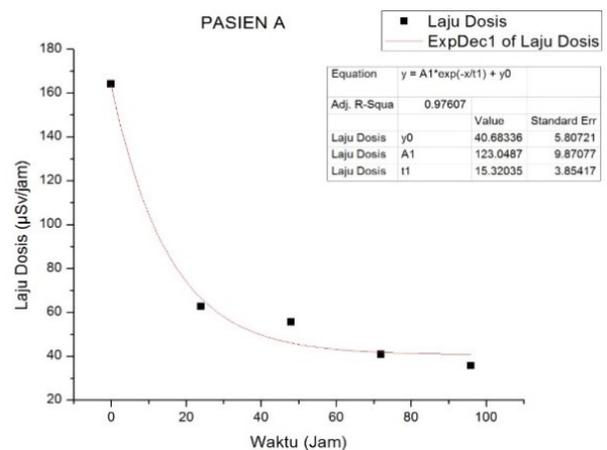
**Gambar 6.** Grafik laju dosis rata-rata dari pasien terapi Iodium-131 dengan aktivitas > 30 mCi (pada jarak 1 m)

Laju dosis rata-rata pasien terapi Iodium-131 yang menerima dosis dengan aktivitas > 30 mCi ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 6. Terlihat bahwa laju dosis rata-rata awal (saat 0 menit) untuk masing-masing pasien yang menerima dosis dengan aktivitas 80 mCi dan 150 mCi adalah 188,3 µSv/jam dan 284,71 µSv/jam. Nilai tersebut jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan laju dosis maksimal yang diizinkan untuk meninggalkan rumah sakit. Oleh karena itu, pada pasien terapi I<sup>131</sup> yang menerima dosis dengan aktivitas > 30 mCi harus mendapatkan perlakuan isolasi sampai aktivitas atau laju dosis yang dihasilkan dibawah batas maksimal yang diizinkan meninggalkan rumah sakit.

Pasien yang menerima dosis baik 80 mCi maupun 150 mCi, rata-rata laju dosis yang dihasilkan pada hari ketiga dari tiap pasien tersebut sudah dibawah batas aman sehingga diperbolehkan untuk meninggalkan rumah sakit sesuai peraturan yang berlaku. Laju penurunan aktivitas radioaktif dalam tubuh manusia sebenarnya berbeda-beda tiap orang. Tetapi dapat dilakukan pendekatan dengan menentukan waktu paruh efektif ( $T_{eff}$ ) dari pasien.

### Waktu Paruh Efektif ( $T_{eff}$ ) Iodium-131

Dari masing-masing pasien yang menerima dosis dengan aktivitas > 30 mCi (mendapatkan perlakuan isolasi), selanjutnya ditentukan waktu paruh efektif dari tiap pasien. Waktu paruh efektif setiap pasien ditentukan dengan cara menarik grafik eksponensial dari penurunan laju dosis untuk masing-masing pasien. Persamaan grafik eksponensial yang didapatkan dari penurunan laju dosis pada masing-masing pasien selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai  $T_{eff}$ . Setelah diketahui waktu paruh efektif pada masing-masing pasien, selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan waktu paruh biologis dari tiap pasien terapi. Gambar 7 menunjukkan grafik penurunan laju dosis pasien A terhadap waktu.



**Gambar 7.** Grafik penurunan laju dosis dari pasien A pada jarak 1 m

Penurunan laju dosis dari pasien A diperoleh dari grafik eksponensial pada Gambar 7 yang memberikan persamaan (7).

$$y = A_1 e^{\left(-\frac{x}{t_1}\right)} + y_0 \quad (7)$$

dengan  $A_1$  adalah amplitudo,  $y_0$  adalah nilai offset atau error, dan  $t_1$  adalah konstanta peluruhan. Mengacu pada Persamaan (3), maka diperoleh:

$$\frac{x}{t_1} = \frac{0,693}{t_{1/2}} t \rightarrow t_{1/2} = 0,693 t_1$$

dengan,  $t_1$  adalah  $15,320 \pm 3,854$ , maka waktu paruh efektif ( $t_{1/2}$ ) radiofarmaka Iodium-131 dari pasien A adalah ( $10,622 \pm 2,671$ ) jam. Waktu paruh fisis dari radiofarmaka Iodium-131 adalah 8,05 hari (193,2 jam) maka waktu paruh biologis dari pasien A adalah ( $11,24 \pm 2,70$ ) jam.

Waktu paruh efektif Iodium-131 dalam masing-masing tubuh pasien terapi ablasi kedokteran nuklir dapat dilihat dalam Tabel 3.

**Tabel 3.** Waktu paruh efektif dan waktu paruh biologis Iodium-131 untuk masing-masing pasien terapi

Pasien	$T_{\text{eff}}$ (Jam)	$T_{\text{Bio}}$ (Jam)
A	$10,622 \pm 2,671$	$11,241 \pm 2,708$
B	$10,561 \pm 0,001$	$11,170 \pm 0,001$
C	$9,418 \pm 0,002$	$9,902 \pm 0,002$
D	$7,553 \pm 2,362$	$7,861 \pm 2,391$
E	$10,636 \pm 0,003$	$11,256 \pm 0,003$
F	$10,421 \pm 0,004$	$11,018 \pm 0,004$
G	$8,860 \pm 0,002$	$9,292 \pm 0,002$
H	$6,864 \pm 3,130$	$7,114 \pm 3,182$
I	$12,511 \pm 5,913$	$13,381 \pm 6,100$
J	$12,560 \pm 0,673$	$13,433 \pm 0,675$
K	$12,900 \pm 0,009$	$13,825 \pm 0,009$
L	$11,032 \pm 0,005$	$11,703 \pm 0,005$
M	$13,355 \pm 0,466$	$14,347 \pm 0,467$

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa waktu paruh efektif dari pasien terapi Iodium dalam kisaran waktu 6-14 jam. Pasien H (menerima radiofarmaka Iodium-131 dengan aktivitas 150 mCi) memiliki waktu paruh efektif terpendek yaitu ( $6,864 \pm 3,130$ ) jam sedangkan pasien M (menerima radiofarmaka Iodium-131 dengan aktivitas 150 mCi) memiliki waktu paruh terpanjang dengan ( $13,355 \pm 0,466$ ) jam.

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa waktu paruh efektif  $I^{131}$  dalam tubuh setiap pasien berbeda-beda. Pemberian radiofarmaka dengan aktivitas sama, waktu paruh efektif yang dihasilkan tidak sama. Artinya bahwa aktivitas radiofarmaka yang diberikan terhadap pasien

tidak berpengaruh terhadap munculnya perbedaan waktu paruh efektif pada setiap pasien. Akan tetapi setelah diketahui waktu paruh biologis dari masing-masing pasien, dapat dilihat bahwa nilai waktu paruh biologis selaras dengan waktu paruh efektif untuk masing-masing pasien. Semakin panjang waktu paruh biologis dalam tubuh pasien, maka semakin panjang pula waktu paruh efektif radiofarmaka dalam tubuh pasien tersebut. Hal tersebut menunjukkan bahwa eliminasi radiofarmaka Iodium secara biologis (waktu paruh biologis) dalam tubuh pasien berpengaruh terhadap panjang pendeknya waktu paruh efektif dalam tubuh pasien. Salah satu bentuk eliminasi radiofarmaka dalam tubuh yang paling dominan adalah melalui urin yang dibuang. Banyak sedikitnya urin dan kandungan radiofarmaka dalam urin yang dikeluarkan oleh masing-masing pasien dalam pada setiap harinya tidak sama. Hal tersebutlah yang mendasari perbedaan waktu paruh efektif pada pasien terapi Iodium-131 dipengaruhi oleh laju eksresi dari masing-masing pasien.

### KESIMPULAN

Hasil-hasil penelitian memberikan kesimpulan bahwa tinggi laju dosis dari pasien terapi Iodium-131 yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi memiliki laju dosis (pada jarak 1 m)  $\leq 50$   $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Pasien terapi Iodium-131 yang menerima dosis dengan aktivitas 80 mCi dan 150 mCi pada jarak 1 m menghasilkan laju dosis rata-rata 188,3  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$  dan 284,7  $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ . Semua pasien terapi Iodium-131 yang menerima dosis dengan aktivitas  $\leq 30$  mCi menghasilkan laju dosis yang aman bagi masyarakat umum sesuai peraturan proteksi radiasi yang berlaku. Karakteristik laju dosis radiofarmaka dalam tubuh pasien terapi Iodium-131 (1 jam setelah pemberian radiofarmaka) dipengaruhi oleh laju eksresi dan cepat lambatnya proses pengikatan iodium oleh darah dan kelenjar tiroid. Penurunan laju dosis dari pasien terapi Iodium-131 secara keseluruhan bersifat eksponensial, karena dipengaruhi oleh waktu

paruh fisik radiofarmaka dan waktu paruh biologis dari masing-masing pasien. Dari 13 pasien, waktu paruh efektif terpendek radiofarmaka Iodium-131 adalah  $(6,86 \pm 3,13)$  jam untuk pasien H, sedangkan pasien dengan waktu paruh efektif terpanjang Iodium-131 adalah pasien M yaitu  $(13,35 \pm 3,13)$  jam. Perbedaan waktu paruh efektif Iodium-131 dari masing-masing pasien disebabkan oleh waktu paruh biologis pasien yang berbeda-beda.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deparemen Kesehatan (2009) *Standar pelayanan Kedokteran Nuklir di Sarana Pelayanan Kesehatan*, Kepmenkes
- [2] PERKA BAPETEN No. 17 Tahun 2012, *Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir*, BAPETEN, Jakarta
- [3] Anonim (2006) *Nuclear Medicine Resource Manual*, IAEA, Vienna
- [4] Zanzonico P.B., dkk. (2000) *A Generalized Algorithm for Determining The Time of Release and The Duration of Post-Release Radiation Precautions Following Radionuclide Therapy*, Health Physics 78, 648-659
- [5] Lombardi, M.H. (2007), *Radiation Safety In Nuclear Medicine 2<sup>nd</sup> edition*, Taylor & francis Group, Boca Raton
- [6] Silberstein E.B, dkk. (2012) *Then SNM Practice Guideline for Therapy of Thyroid Disease with I<sup>131</sup>*, Journal of Nuclear Medicine 112, 105148
- [7] Anonim (2014) *Thyroid Cancer*, American Cancer Society, USA
- [8] Anonim (2014) *Radioactive Iodine*. American Thyroid Association, USA
- [9] Turner, J.E. (2007) *Atom, Radiation, and Radiation Protection*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim
- [10] Noz, M.E. dan Maguire, G.Q., Jr. (2007), *Radiation Protection in Health Sciences Second Edition*, World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd, Singapore