

## Analisis tingkat kontaminasi permukaan daerah kerja dan laju paparan radiasi pada Instalasi Kedokteran Nuklir

Ukhti Lailun Nisa<sup>1)</sup>, Gani Gunawan<sup>2)</sup>, Zaenal Arifin<sup>1)</sup> dan Eko Hidayanto<sup>1)</sup>

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

<sup>2)</sup>Kedokteran Nuklir, Instalasi Radiologi, RSUP Dr. Kariadi Semarang.

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

### ABSTRACT

The surface contamination of the work area and the rate of radiation exposure at nuclear medicine installation have an effect to the safety workers and the society directly or indirectly. This study aims to analyze the level of surface contamination and the rate of radiation exposure on the nuclear medicine installation and to identify the activity of half time  $^{99m}\text{Tc}$  and  $^{131}\text{I}$ . The used method is measuring the surface contamination of the work area caused by the use of radiopharmaceutical through the distance between the detector window and the 3 cm measured region. Meanwhile, the rate of radiation exposures is used to measure the sides of each room with a distance 1 meter in the area control and to measure the activity of radioisotope that is monitored once every an hour for 6.03 hours to  $^{99m}\text{Tc}$  and every day for 8 days to  $^{131}\text{I}$  of the initial measurement and compares with the result calculation. The measurement result of the level of the surface contamination in various areas of all rooms is 0.000-5.272 Bq/cm<sup>2</sup> and it is classified into low to medium level of contamination. The measurement result of the rate of radiation exposure in the control area is 0.022-1.404  $\mu\text{Sv/h}$  which is still classified under 10  $\mu\text{Sv/h}$ . So, it can be concluded that it is safe for workers and other patients. The use of radioisotope on the nuclear medicine installation in accordance with their needs and always consider to the principles of the radiation protection, therefore the level of contamination and the rate of radiation exposure is low. The result of the measurement and the calculation of the activity of  $^{99m}\text{Tc}$  are decays into a half after 6.03 hours and the activity of  $^{131}\text{I}$  is decays a half after 8 days.

**Keywords:** Radiation Protection, Contamination, The rate of Radiation Exposure Half Time Activity.

### ABSTRAK

Kontaminasi permukaan daerah kerja dan laju paparan radiasi pada Instalasi Kedokteran Nuklir memiliki pengaruh terhadap keselamatan pekerja dan masyarakat umum lainnya baik secara langsung maupun tidak langsung. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kontaminasi permukaan dan laju paparan radiasi pada instalasi kedokteran nuklir serta mengidentifikasi aktivitas pada waktu paro  $^{99m}\text{Tc}$  dan  $^{131}\text{I}$ . Metode yang digunakan adalah mengukur kontaminasi permukaan daerah kerja yang diakibatkan oleh penggunaan radiofarmaka dengan jarak antara jendela detektor dengan daerah yang diukur sebesar 3 cm. Laju paparan radiasi dilakukan dengan mengukur sisi setiap ruangan dengan jarak 1 meter pada daerah pengendalian, serta mengukur aktivitas radioisotop yang dipantau satu jam sekali selama 6,03 jam untuk  $^{99m}\text{Tc}$  dan setiap hari selama 8 hari untuk  $^{131}\text{I}$  dari awal pengukuran dan dibandingkan dengan hasil perhitungan. Hasil pengukuran tingkat kontaminasi permukaan di berbagai daerah semua ruangan yaitu 0,000-5,272 Bq/cm<sup>2</sup> yang tergolong tingkat kontaminasi rendah hingga sedang. Hasil pengukuran laju paparan radiasi pada daerah pengendalian yaitu 0,022-1,404  $\mu\text{Sv/h}$  yang tergolong masih di bawah 10  $\mu\text{Sv/h}$ , sehingga masih aman bagi pekerja dan pasien lainnya. Penggunaan radioisotop pada instalasi kedokteran nuklir sesuai dengan kebutuhan dan selalu memperhatikan prinsip proteksi radiasi, sehingga tingkat kontaminasi dan laju paparan radiasi rendah. Hasil pengukuran dan perhitungan aktivitas pada waktu paro  $^{99m}\text{Tc}$  meluruh aktivitas setengahnya setelah 6,03 jam dan  $^{131}\text{I}$  meluruh aktivitas setengahnya setelah 8 hari.

**Kata Kunci :** Proteksi radiasi, Kontaminasi, Laju paparan radiasi, Aktivitas pada waktu paro

### PENDAHULUAN

Proteksi Radiasi merupakan suatu cabang ilmu pengetahuan atau teknik yang

mempelajari masalah kesehatan manusia dan lingkungan yang berkaitan dengan pemberian perlindungan kepada seseorang atau

sekelompok orang ataupun kepada keturunannya terhadap kemungkinan merugikan kesehatan akibat paparan radiasi. Tujuan proteksi radiasi ini adalah mencegah terjadinya efek deterministik yang membahayakan dan mengurangi terjadinya efek stokastik serendah mungkin.

Kontaminasi zat radioaktif pada daerah kerja dapat terjadi akibat dari adanya kontak langsung antara bahan radioaktif dengan benda. Kontaminasi di daerah kerja dapat disebabkan oleh beberapa hal, terutama pada saat dilakukan penanganan sumber terbuka. Kontaminasi daerah kerja bisa terjadi pada permukaan (baik lantai maupun fasilitas kerja lainnya) dan udara di dalam ruangan. Tempat kerja yang memanfaatkan sumber-sumber terbuka perlu dilengkapi dengan survey meter kontaminasi yang dipasang pada tempat-tempat tertentu untuk memudahkan pemeriksaan kontaminasi pada para pekerja [1].

Pengukuran tingkat kontaminasi permukaan di daerah kerja dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat ukur atau tidak langsung dengan menggunakan metode tes usap. Pengukuran secara langsung dilakukan apabila tempat yang akan diukur tidak mempengaruhi sumber radiasi lain yang dapat mempengaruhi bacaan alat ukur [2]. Pada pengukuran secara tidak langsung dengan menggunakan metode pengambilan tes usap yang mempunyai sifat tidak dapat diulang. Kelemahan dalam pelaksanaan tes usap hasil dari pengukurannya tidak begitu akurat karena fraksi yang terangkat dalam tes usap sangat dipengaruhi banyak faktor [3].

## **DASAR TEORI**

### **Radioisotop**

Radioisotop yang paling banyak digunakan pada Instalasi Kedokteran Nuklir adalah Technitium-99m (<sup>99m</sup>Tc) dapat diperoleh dengan cara elusi generator dan

mempunyai waktu paruh pendek sekitar 6,03 jam serta memancarkan gamma murni dengan energi 140 keV. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan cepat dan akurat dengan pemberian jumlah aktivitas mili curie radiasi yang tidak tinggi dosisnya untuk pasien [4]. Technitium-99m ini digunakan untuk pemeriksaan secara diagnosis. Radiasi gamma dengan energi yang relatif rendah tidak memberikan dampak yang besar kepada tubuh, namun cukup besar untuk menembus jaringan dan dapat ditangkap dengan mudah oleh detektor radiasi dari luar tubuh [5]. Iodium-131 (<sup>131</sup>I) adalah radionuklida yang memancarkan  $\beta$  dan  $\gamma$  dengan waktu paro 8,1 hari. Energi yang dipancarkan pada Iodium-131 untuk partikel  $\beta$  yaitu 0,61 MeV dan untuk partikel  $\gamma$  yaitu 364 keV. Iodium-131 digunakan untuk pasien terapi atau ablasi yang diberikan secara oral [6].

### **Tingkat Kontaminasi**

Kontaminasi adalah keberadaan zat radioaktif berbentuk padatan, cairan, atau gas yang tidak semestinya pada permukaan bahan, benda, atau dalam suatu ruangan dan di dalam tubuh manusia, yang dapat menimbulkan bahaya paparan radiasi [7]. Pengukuran tingkat kontaminasi permukaan di daerah kerja dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat ukur atau tidak langsung dengan menggunakan metode tes usap. Pengukuran secara langsung dilakukan apabila tempat yang akan diukur tidak dipengaruhi sumber radiasi lain yang dapat mempengaruhi bacaan alat ukur. Nilai kontaminasi sebenarnya pada permukaan di daerah kerja yang diukur dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_s = (K_a - K_{Bg}) \times FK \quad (1)$$

dengan  $K_s$  adalah nilai kontaminasi sebenarnya ( $Bq/cm^2$ ),  $K_a$  adalah nilai kontaminasi yang terbaca dalam alat ukur (cpm),  $K_{Bg}$  adalah nilai kontaminasi latar yang terbaca dalam alat ukur (cpm),  $FK$  adalah faktor kalibrasi alat ukur. Pembagian tingkat kontaminasi dirangkumkan pada Tabel 1 [2].

**Tabel 1.** Pembagian daerah kontaminasi [2].

Daerah kontaminasi <i>i</i>	Pemancar $\alpha$ (Bq/cm <sup>2</sup> )	Pemancar $\beta$ (Bq/cm <sup>2</sup> )
<b>Rendah</b>	$0 < \alpha < 0,37$	$0 < \beta < 3,7$
<b>Sedang</b>	$0,37 \leq \alpha \leq 3,7$	$3,7 \leq \beta \leq 37$
<b>Tinggi</b>	$\geq 3,7$	$\geq 37$

### Laju Paparan

Laju paparan radiasi yang terukur adalah besarnya laju paparan yang terbaca pada alat ukur dikurangi laju paparan latar dikalikan faktor kalibrasi alat ukur, dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_g = (X_a - X_{Bg}) \times FK \quad (2)$$

dengan  $X_g$  = laju paparan sebenarnya di tempat yang diukur ( $\mu\text{Sv/h}$ ),  $X_a$  = bacaan laju paparan dari alat ukur ( $\mu\text{Sv/h}$ ),  $X_{Bg}$  = bacaan laju paparan latar ( $\mu\text{Sv/h}$ ),  $FK$  = faktor kalibrasi alat ukur [2].

Pemantauan radiasi dan radioaktivitas lingkungan dapat menunjang terlaksananya program keselamatan kerja pada suatu instalasi Kedokteran Nuklir, maka perlu terlebih dahulu dilakukan pembagian daerah kerja disesuaikan dengan ketentuan yang berlaku. Dengan adanya pembagian daerah kerja yang jelas disesuaikan dengan jenis kegiatan dan potensi bahaya pada masing-masing daerah kerja tersebut, dapat disusun program pemantauan radiasi yang sesuai dengan kebutuhan proteksi untuk masing-masing daerah kerja [1]. Untuk keperluan proteksi radiasi, daerah kerja dapat dibagi menjadi :

1. Daerah supervisi (pengawasan), yaitu daerah kerja diluar Daerah Pengendalian yang memerlukan peninjauan terhadap Paparan Kerja dan tidak memerlukan tindakan proteksi atau ketentuan keselamatan khusus. Kriteria potensi penerimaan Paparan Radiasi individu lebih dari NBD anggota masyarakat dan kurang dari 3/10 NBD Pekerja Radiasi dan bebas kontaminasi.
2. Daerah pengendalian, yaitu suatu daerah kerja memerlukan tindakan proteksi dan

ketentuan keselamatan khusus untuk mengendalikan Paparan Normal atau mencegah peyebaran kontaminasi selama kondisi kerja normal dan untuk mencegah atau membatasi tingkat Paparan Potensial. Potensi penerimaan Paparan Radiasi melebihi 3/10 NBD Pekerja Radiasi dan atau adanya potensi kontaminasi [8].

Pembagian daerah kerja berdasarkan dengan laju paparan dosis yaitu :

- a. Daerah kerja dengan laju dosis kurang dari 10  $\mu\text{Sv/h}$  tidak memerlukan tindakan pencegahan khusus terhadap radiasi eksternal. Bila seorang bekerja dalam daerah ini, maka dalam satu tahun (2000 jam) dosis radiasi yang diterima rata-rata sebesar 20 mSv dan dalam periode 5 tahun dosis yang terakumulasi tidak boleh melebihi 100 mSv.
- b. Daerah dengan laju paparan dosis lebih besar dari 10  $\mu\text{Sv/h}$  kerja dengan laju dosis melebihi 10  $\mu\text{Sv/h}$  harus diberi tanda radiasi. Bidang keselamatan bertanggung jawab memantau secara rutin dan memperbaruinya apabila ada perubahan. Adanya perubahan kondisi yang diperkirakan akan mengubah laju paparan di daerah kerja perlu menjadi perhatian bidang keselamatan kerja.

Pekerja radiasi yang bekerja di daerah radiasi tinggi selain menggunakan badge TLD juga menggunakan dosimeter saku. Bidang Keselamatan memberikan pengarahan dan petunjuk mengenai penggunaan dosimeter saku [9].

### Waktu Paro

Pemancaran radiasi secara terus-menerus sepanjang waktu dari inti radioaktif akan mengakibatkan berkurangnya jumlah inti atom radioaktif. Peristiwa penyusutan jumlah inti atom ini disebut peluruhan atau pelapukan. Berkurangnya jumlah inti radioaktif akan disertai dengan berkurangnya jumlah radiasi yang dipancarkannya. Laju peluruhan setiap zat radioaktif bergantung pada jenis zat radioaktifnya. Jumlah peluruhan yang terjadi juga bergantung

pada jumlah zat radioaktif mula-mula. aktivitas sebanding dengan jumlah nuklida, persamaan di atas dapat ditulis sebagai :

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3)$$

$$A_t = \frac{1}{2} A_0 \quad (4)$$

dengan  $A_t$  dan  $A_0$  masing-masing ialah aktivitas (radioaktivitas) pada saat dan pada saat awal.

Semakin pendek waktu paro, semakin cepat zat radioaktif tersebut meluruh sehingga kemampuannya memancarkan radiasi berkurang dengan cepat pula. Sebaliknya semakin panjang waktu paruhnya, semakin lama pula umur zat radioaktif tersebut karena zat radioaktif meluruh dengan laju yang lambat [10].

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

- Survey meter Mini Con yang digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi radiasi.
- Graetz ED 150 digunakan untuk mengukur laju paparan radiasi.
- Dose Calibrator* digunakan untuk menghitung aktivitas suatu radioisotop.
- Pinset digunakan untuk mengambil vial radioisotop.
- $I^{131}$  digunakan untuk terapi dan diagnostik.
- $Tc^{99m}$  digunakan untuk diagnostik.
- Zat pembawa digunakan untuk mengamati distribusi di dalam organ tubuh.

Metode penelitian ini menggunakan teknik pengambilan data prospektif, dengan data yang digunakan berasal dari pengukuran langsung pada Instalasi Kedokteran Nuklir. Untuk metode pengolahan data terdiri dari beberapa tahap, yaitu:

- Kontaminasi Daerah Kerja dan Laju Paparan Radiasi

Kontaminasi daerah kerja dan laju paparan radiasi diperoleh dari hasil pengukuran kadar kontaminasi pada ruangan Instalasi Kedokteran Nuklir. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat survey meter Mini Con Sn. 308 untuk kontaminasi dan Graetz ED 150 Sn. 72359 untuk laju paparan radiasi sehingga diperoleh nilai cacahan pada masing-masing tempat.

- Perhitungan Kontaminasi Daerah Kerja dan Laju Paparan Radiasi

Nilai kontaminasi diperoleh dari cacahan pengukuran kadar tingkat kontaminasi, dengan menggunakan Persamaan (1), sedangkan nilai laju paparan radiasi diperoleh dari cacahan pengukuran laju paparan ruangan dan pasien terapi dengan menggunakan Persamaan (2).

- Perhitungan Aktivitas pada waktu paro  $^{99m}Tc$  dan  $^{131}I$

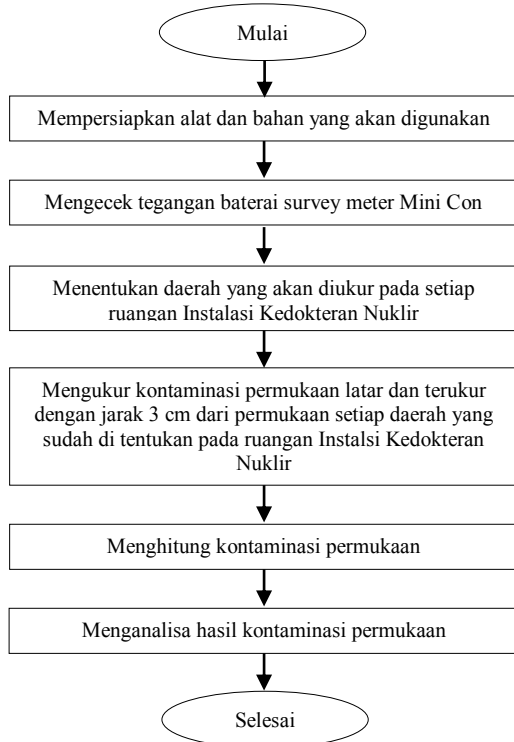
Perhitungan Aktivitas pada waktu paro  $^{99m}Tc$  dan  $^{131}I$  diperoleh dari hasil pengukuran radioisotop dengan menggunakan *dose calibrator* dan untuk membuktikannya, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan (3).

- Analisis Data

Analisis data pada tingkat kontaminasi permukaan daerah kerja dilihat dari hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan (1). Hasil yang didapat termasuk dalam pembagian daerah kontaminasi sesuai dengan tabel 1. Pada laju paparan radiasi hasil dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan (2) yang kemudian hasil yang didapat termasuk dalam laju paparan rendah jika paparan radiasinya  $< 10 \mu Sv/h$  atau tinggi jika paparan radiasinya  $> 10 \mu Sv/h$  menurut komisi proteksi radiasi kawasan nuklir serpong. Sedangkan pada aktivitas pada waktu paro, aktivitas yang terukur dengan menggunakan *dose calibrator* dan menghitung aktivitas terhitung dengan menggunakan Persamaan (3) kemudian hasil dari terukur dan terhitung dibandingkan sama dengan literatur atau tidak.

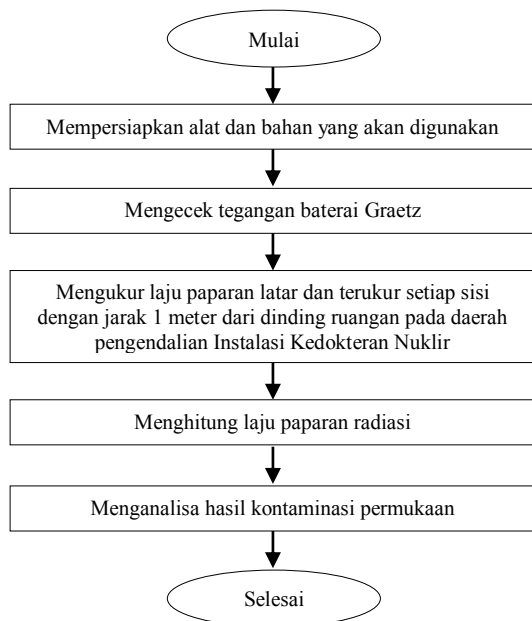
Diagram Alir

a. Kontaminasi permukaan daerah kerja



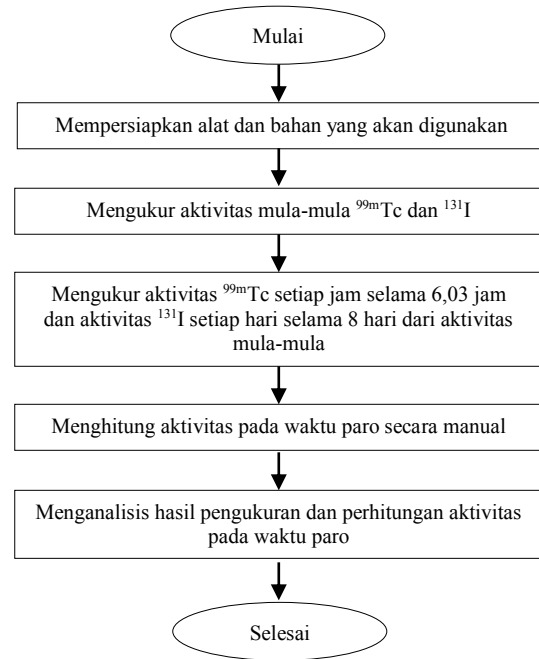
Gambar 1. Diagram alir kontaminasi permukaan daerah kerja

b. Laju paparan



Gambar 2. Diagram alir laju paparan

c. Aktivitas pada waktu paro



Gambar 3. Diagram alir aktivitas pada waktu paro

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Tingkat Kontaminasi

Dari hasil pengukuran tingkat kontaminasi diberbagai ruangan Instalasi Kedokteran Nuklir diperoleh hasil pada daerah pengawasan yang tidak memerlukan tindakan proteksi atau keselamatan khusus yaitu rata – rata tingkat kontaminasi permukaan pada daerah kerja tergolong rendah (<3,7 Bq/cm<sup>2</sup>). Hal tersebut kemungkinan bisa terjadi kontaminasi pada beberapa ruangan. Kemungkinan kontaminasi berasal dari pasien yang terapi tetes *Iodium* batuk atau bersin atau tangan pasien yang memegang kursi atau dari alas kaki pasien. sedangkan pada daerah pengendalian yang memerlukan tindakan proteksi atau keselamatan khusus dan berpotensi terkontaminasi yaitu tingkat kontaminasi permukaan pada daerah kerja tergolong rendah hingga sedang, dimana tingkat kontaminasi sedang mencapai 5,272

Bq/cm<sup>2</sup> terdapat pada meja kerja ruang penyuntikan. Hal ini disebabkan karena aktifitas penggunaan radiofarmaka pada setiap harinya berbeda – beda dan pengaruh waktu peluruhan waktu paro radioaktif serta kemungkinan juga adanya sedikit tumpahan cairan pada saat meneteskan Iodium untuk pasien terapi dan penyuntikan radiofarmaka. Walaupun masih tergolong tingkat kontaminasi sedang, maka perlu dilakukannya dekontaminasi dan pembersihan bagian yang terkontaminasi tersebut dengan cairan *radiacwash* dan menggunakan *underpad* atau kertas yang mudah menyerap, supaya tingkat kontaminasi bisa menurun hingga batasan tingkat kontaminasi rendah.

### Analisis Laju Paparan

Dari hasil pengukuran laju paparan radiasi pada ruangan Instalasi Keedokteran Nuklir daerah pengendalian yang berpotensi terpapar radiasi eksternal dan internal yang dipancarkan dari zat radioaktif yang dimungkinkan pekerja dan pasien terpapar radiasi yang berlebih, besarnya laju paparan dari beberapa sisi ruangan tergolong rendah yaitu 0,022 – 1,404  $\mu$ Sv/h. walaupun terdapat hasil yang tinggi di ruang *hot lab* sekitar 1,404  $\mu$ Sv/h yang berada pada sisi timur (ruang limbah) di hari ketiga belas penelitian. Laju paparan radiasi masih rendah karena tidak menembus ke ruangan lain serta penambahan perisai pada setiap dinding membuat daya tembus laju paparan ke ruang yang lain kecil.

### Analisis Aktifitas pada Waktu Paro <sup>99m</sup>Tc dan <sup>131</sup>I

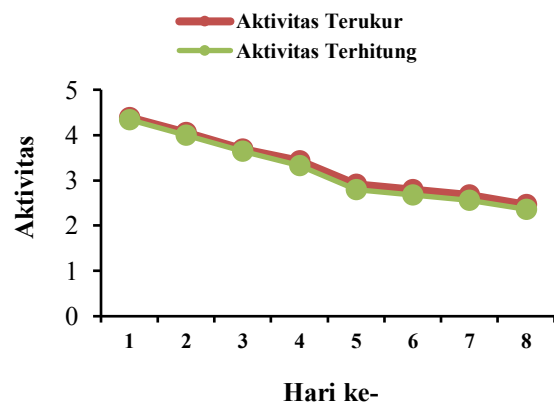
Pada Tabel 2, pengukuran aktifitas pada waktu paro <sup>99m</sup>Tc hasil yang diperoleh terbukti bahwa waktu paro <sup>99m</sup>Tc sesuai dengan literatur setelah 6,03 jam meluruh setengahnya, aktifitas yang mula-mulanya 9,25 mCi meluruh setengahnya setelah 6,17 jam menjadi 4,50 mCi untuk aktifitas yang terukur dengan *dose calibrator*, sedangkan

pada aktifitas yang terhitung manual menjadi 4,41 mCi. Hal ini dipengaruhi oleh waktu pengukuran yang tidak konstan.

Tabel 2 Hasil pengukuran dan perhitungan Aktifitas pada waktu paro Technitium<sup>99m</sup>

No	Waktu	Aktifitas Mula-mula	Aktifitas Terukur	Aktifitas Terhitung
1	1,14 jam	9,25 mCi	7,89 mCi	8,07 mCi
2	2,01 jam	9,25 mCi	7,34 mCi	7,27 mCi
3	3,14 jam	9,25 mCi	6,38 mCi	6,35 mCi
4	4,06 jam	9,25 mCi	5,81 mCi	5,68 mCi
5	5,12 jam	9,25 mCi	5,12 mCi	5,00 mCi
6	6,17 jam	9,25 mCi	4,50 mCi	4,41 mCi

Pada Gambar 4, pengukuran aktifitas pada waktu paro <sup>131</sup>I hasil yang diperoleh terbukti bahwa waktu paro <sup>131</sup>I sesuai juga dengan literatur setelah 8,1 hari meluruh setengahnya, aktifitas yang mula-mulanya 4,72 mCi meluruh setengahnya setelah 8 hari 3,35 jam menjadi 2,46 mCi untuk aktifitas yang terukur dengan *dose calibrator*, sedangkan pada aktifitas yang terhitung manual menjadi 2,35 mCi. Hal ini dipengaruhi oleh waktu pengukuran yang tidak konstan.



Gambar 4. Grafik hasil pengukuran dan perhitungannya aktifitas pada waktu paro <sup>131</sup>I

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan Tingkat kontaminasi di beberapa permukaan di ruangan Instalasi Kedokteran Nuklir, bervariasi dari kategori tingkat kontaminasi rendah hingga sedang yaitu 0,000 – 5,272 Bq/cm<sup>2</sup>. Kontaminasi disebabkan karena

terdapat radioisotop yang tercecer di meja kerja. Nilai laju paparan radiasi yang terukur di Instalasi Kedokteran Nuklir yaitu 0,022 – 1,404  $\mu\text{Sv/h}$ . Laju paparan radiasi ini masih termasuk rendah yaitu di bawah 10  $\mu\text{Sv/h}$ , karena paparan di dalam ruang tidak menembus ke sisi ruang tersebut. Sehingga masih aman bagi pekerja radiasi dan pasien lainnya. Pengukuran aktivitas pada waktu paro pada sampel radioisotop  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  dan  $^{131}\text{I}$  didalam ruang *hot lab* Instalasi Kedokteran Nuklir menunjukkan bahwa aktivitas  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  meluruh setengahnya dari aktivitas mula-mula setelah 6,03 jam dan  $^{131}\text{I}$  juga meluruh setengahnya dari aktivitas mula-mula setelah 8,1 hari.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pak Rustanto, Pak Mustakim dan Pak Igo yang sudah membantu penulis dalam melakukan penelitiannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akhadi, M. (2000) *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, PT Rineka Cipta.
- [2] Wiyono, M. (2006) *Pengukuran Kontaminasi Permukaan dan Laju Paparan Radiasi di RSUD. Dr. Soetomo Surabaya*, PTKMR BATAN, Jakarta.
- [3] Prayitno, B. (2007) *Pengukuran Radiasi dan Pengolahan Data di Instalasi Nuklir*, BATAN, Banten.
- [4] Ali, S. S., Sadaf, S., Shahbaz, M., Zohaib, A., Yaseen, M., dan Latif, S. (2013) *Thyroid Scan with Minimal Dose of Technitium-99m: An effort to Mitigate Hazardous Effects of Ionizing Radiation*, Internassional Scientific Organization, Pakistan.
- [5] Awaludin, R. (2011) *Radioisotop Teknisium-99m dan Kegunaannya*, Buletin Alara, Serpong.
- [6] Silberstein, E. B., Alavi, A., Balon, H. R., Clarke, S. E.M., Divgi, C., Gelfand, M. J., Goldmith, S. J., Jadvar, H., Marcus, C. S., Martin, W. H., Parker, J. A., Royal, H. D., Sarkar, S. D., Stabin, M., dan Waxman, A.D. ( 2012) *The SNM Practice Guideline for Therapy of Thyroid Disease with Iodine-131 (Sodium Iodide)*, Journal of Nuclear Medicine, Amerika.
- [7] Perka Bapeten No. 17 Tahun 2012, *Keselamatan Radiasi Dalam Kedokteran Nuklir*, Jakarta.
- [8] Perka Bapeten No. 4 Tahun 2013, *Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*, Jakarta.
- [9] Komisi Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong (2011) *Pedoman Keselamatan dan Proteksi Radiasi Kawasan Nuklir Serpong*, Puspitek BATAN, Serpong.
- [10] Pratomo (2006) *Radiokimia dan Produksi Radioisotop*, Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN, Tangerang.