

Kalibrasi Dosimeter Saku Gamma Menggunakan Sumber Radioaktif Cesium-137 di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar

Miftahul Janna¹, Ika², Sitti Nurrahmi³, Nurul Fuadi⁴

¹²³⁴ *Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar*

¹miftahuljanna1201@gmail.com, ^bikaamboelo@gmail.com, ^csitti.nurrahmi@uin-alauddin.ac.id, ^dnurul.fuadi@uin-alauddin.ac.id

ABSTRACT: Calibration is an activity to determine the conventional truth of the designation value of measuring instruments and measuring materials by comparing them to traceable measuring standards to national and international standards for international units of measurement and certified reference materials. AUR calibration is the act of comparing the readings of the instrument against the standard AUR readings or the act of irradiating the device in a radiation field of known characteristics through a standard source or standard AUR at reference conditions. Personal dosimeter is a tool used to measure the cumulative radiation dose. The tools and materials used in this practicum are personal dosimeter (ARROW-TECH), thermohygrobarometer, irradiator, cesium-137 radiation source, laser, steel ruler, compressor, CCTV monitor, zero dosimeter, plaster and panthom. From the measurement results that have been carried out, the measurement data obtained are 1,510 mSv, 1,510 mSv, 1,500 mSv, 1,500 mSv and 1,500 mSv. So that the value of the personal dosimeter calibration factor is 1.07. Where the calibration factor is generated from the comparison between the standard dose and the average measurement results.

Keywords: *Cesium Cs-137, Calibration and Personal Dosimeter (Pendose)*

ABSTRAK: Kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukkan alat ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukur yang mampu telusur (*traceable*) ke standar nasional maupun internasional untuk satuan ukuran internasional dan bahan-bahan acuan tersertifikasi. Kalibrasi AUR adalah tindakan membandingkan bacaan alat terhadap bacaan AUR standar atau tindakan menyinari alat tersebut dalam medan radiasi yang telah diketahui karakteristiknya melalui sumber standar atau AUR standar pada kondisi acuan. Personal dosimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi secara akumulatif. Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini adalah personal dosimeter (ARROW-TECH), *termohygrobarometer*, irradiator, sumber radiasi cesium-137, laser, mistar baja, kompresor, CCTV monitor, zero dosimeter, plaster dan panthom. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data pengukuran sebesar 1,510 mSv, 1,510 mSv, 1,500 mSv, 1,500 mSv dan 1,500 mSv. Sehingga diperoleh nilai faktor kalibrasi personal dosimeter sebesar 1,07. Dimana faktor kalibrasi dihasilkan dari perbandingan antara dosis standar dengan rata-rata hasil pengukuran.

**corresponding author*

sitti.nurrahmi@uin-alauddin.ac.id

DOI:

Kata kunci: *Cesium Cs-137, Kalibrasi dan Personal Dosimeter (Pendose)*

PENDAHULUAN

Penggunaan sumber radiasi pengion diberbagai bidang seperti dibidang industri, fasilitas pembangkit nuklir, penelitian, institusi medik dan lain-lain menyebabkan timbulnya paparan radiasi pengion baik terhadap pekerja maupun masyarakat sekitarnya. Pemanfaatan radiasi pengion ini terdapat pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 33 tahun 2007 tentang ketentuan keselamatan dan keamanan pemanfaatan radiasi pengion mengacu kepada ketentuan *Intenasional Atomic Energy Agency* (IAEA) dan yang dikeluarkan oleh *Internasional Commision on Radiological Protection* (ICRP). Peraturan pemerintah ini mengatur tentang keselamatan radiasi terhadap pekerja, masyarakat, lingkungan hidup serta keamanan sumber radioaktif dan inspeksi dalam pemanfaatan tenaga nuklir. Pemanfaatan radiasi pengion untuk tujuan proteksi radiasi diperlukan alat ukur radiasi pengion tersebut. Selain itu, alat ukur tersebut juga harus dikalibrasi terhadap alat ukur acuan yang tertelusur ke laboratorium standar nasional sesuai dengan besaran radiasi yang diukur. Untuk alasan tersebut maka alat ukur tersebut perlu dipelihara dan dikalibrasi secara berkala.

Sudah merupakan suatu ketentuan bahwa setiap alat ukur proteksi radiasi harus dikalibrasi secara periodik oleh instansi yang berwenang. Hal ini dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya. Perbedaan nilai antara yang ditampilkan dan yang sebenarnya harus dikoreksi dengan suatu parameter yang disebut sebagai faktor kalibrasi (F_k). Dewan Standarisasi Nasional (DNS/1990) mendefinisikan bahwa kalibrasi adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional penunjukan instrumen ukur dan bahan ukur dengan cara membandingkannya terhadap standar ukurannya yang ditelusuri (*traceable*) ke standar Nasional atau internasional.

Salah satu alat kesehatan yang perlu dikalibrasi yaitu dosimeter saku gamma yang merupakan alat ukur proteksi radiasi personal yang dipakai oleh pekerja radiasi pada instalasi radiologi di rumah sakit. Dosimeter saku gamma (pen dosimeter) merupakan alat pemantau dosis perorangan terbaru saat ini yang mempunyai kelebihan dapat dibaca secara langsung dan tidak membutuhkan peralatan tambahan untuk membacanya.

Berdasarkan uraian diatas maka hal yang melatarbelakangi dilakukannya kegiatan ini adalah untuk mengetahui alat-alat yang digunakan dalam kalibrasi personal dosimeter, untuk mengetahui bagaimana prosedur kerja pengkalibrasian personal dosimeter serta untuk mengetahui mengapa perlu dilakukan kalibrasi personal dosimeter.

Alat ukur radiasi pada umumnya dibedakan menjadi tiga yaitu kelompok dosimeter personal, surveimeter dan monitor kontaminasi. Dosimeter personal biasanya digunakan untuk mengukur dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi. Dosimeter personal yang banyak digunakan pada fasilitas kesehatan terdiri dari dosimeter saku (pen dosimeter), film badge, dan dosimeter luminesen (Thermoluminesence Dosimeter, TLD). Surveimeter

digunakan untuk mengukur besarnya radasi di lingkungan atau suatu lokasi secara langsung sedang monitor kontaminasi digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi pada pekerja, alat maupun lingkungan. AUR yang digunakan untuk memonitor radiasi gamma yang diterima pekerja radiasi adalah dosimeter saku gamma atau TLD/Film Badge. Perlengkapan AUR ini merupakan salah satu persyaratan proteksi yang harus dipenuhi Pemegang izin dalam memperoleh perizinan dari BAPETEN untuk pemanfaatan sumber radiasi (Alatas: 2009).

Yang dimaksud dengan Alat Ukur Radiasi (AUR) menurut Peraturan Kepala BAPETEN No.1/2006 adalah alat yang menunjukkan nilai paparan, laju paparan, aktivitas, laju cacah, dosis atau laju dosis dalam medan radiasi. Untuk memperoleh harmonisasi dalam pengukuran radiasi, AUR harus dikalibrasi setiap tahun berdasarkan perka BAPETEN tersebut. Dengan semakin banyaknya AUR yang harus dikalibrasi, kini beberapa institusi pemerintah (di BATAN dan di luar BATAN) tertarik ingin mendirikan fasilitas kalibrasi. Dengan pertimbangan tersebut, dipandang perlu oleh BAPETEN untuk membuka kesempatan bagi institusi yang berminat memberikan pelayanan kalibrasi AUR (BAPETEN: 2006).

Kalibrasi merupakan kegiatan membandingkan nilai pembacaan alat yang dibandingkan dengan alat ukur standar dengan kegiatannya mencakup uji fungsi, uji keselamatan, dan uji kinerja. Kalibrasi juga dilakukan sesuai prosedur yang telah ditetapkan (Kusumadewi: 2020).

Tidak dikalibrasinya alat secara berkala akan menimbulkan parameter pengukurannya tidak akurat dan keliru. Kekeliruan parameter alat dapat mengakibatkan kematian pada bayi yang berada di inkubator yang tidak terjadwal kalibrasinya. Selain itu terdapat beberapa resiko yang terjadi bila suatu alat tidak dilakukan kalibrasi seperti tidak puasnya pengguna alat, biaya perbaikan yang besar, penurunan bisnis, dan kehilangan reputasi (Sentral kalibrasi: 2016)

Menurut Biro Internasional untuk Ukuran dan Timbangan (BIPM), kalibrasi didefinisikan sebagai "serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dengan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu" (JCGM200: 2008).

Faktor kalibrasi adalah faktor koreksi alat ukur radiasi (AUR) yang menunjukkan perbandingan antara nilai kerma udara (K_u) atau dosis ekivalen ambient $H_p^*(10)$ atau paparan (X) yang sebenarnya (dari penunjukan AUR standar) dan nilai bacaan yang ditunjukkan oleh suatu AUR (Sita, dkk: 2018).

Kalibrasi alat ukur radiasi di instalasi KAUR dilakukan untuk menguji ketepatan nilai yang ditampilkan alat terhadap nilai sebenarnya dengan cara menyinari alat tersebut dengan sumber radiasi standar. Perbedaan nilai yang ditampilkan pada alat dengan nilai sebenarnya dinyatakan dengan faktor kalibrasi (F_k). Faktor kalibrasi (F_k) pada AUR

didapatkan dari perbedaan antara laju dosis/dosis pada titik pengukuran dan laju dosis/dosis yang terbaca pada AUR sebagai berikut:

$$F_k = \frac{D_s}{D_u} \quad (1)$$

dengan D_s adalah nilai laju dosis/dosis acuan yang telah ditetapkan oleh laboratorium kalibrasi dan D_u adalah nilai laju dosis/dosis yang terbaca oleh alat ukur yang akan dikalibrasi. Idealnya faktor kalibrasi ini bernilai satu namun pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai faktor kalibrasi sama dengan satu. Nilai faktor kalibrasi yang masih dapat diterima berkisar $1 \pm 20\%$ dengan nilai antara 0,8 - 1,2 (Lewis, dkk: 2005).

Personal dosimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi secara akumulatif. Jadi, dosis radiasi yang mengenai dosimeter personal akan dijumlahkan dengan dosis yang mengenai sebelumnya. Dosimeter personal harus ringan dan berukuran kecil karena alat ini harus selalu dikenakan oleh setiap pekerja radiasi yang bekerja di medan radiasi dosimeter saku gamma yang merupakan alat ukur proteksi radiasi personal yang dipakai oleh pekerja radiasi pada instalasi radiologi di rumah sakit. Dosimeter saku gamma (pen dosimeter) merupakan alat pemantau dosis perorangan terbaru saat ini yang mempunyai kelebihan dapat dibaca secara langsung dan tidak membutuhkan peralatan tambahan untuk membacanya (Sita, dkk: 2018).

Sumber radiasi Cs-137 adalah sumber yang lazim digunakan sebagai kalibrator untuk kalibrasi AUR gamma, karena memiliki waktu paruh yang cukup panjang (30~07 tahun) dan energi cukup tinggi (662 keV), sehingga cukup ekonomis untuk penggunaan waktu yang panjang dan memiliki daya tembus yang cukup kuat untuk berbagai keperluan kalibrasi AUR: Surveimeter, pocket dosimeter, pendose dan penyinaran TLD (Febrianto Hermawan dan Nazaroh, 2017).

Di bidang kesehatan atau rumah sakit isotop Cs-137 dimanfaatkan sebagai kalibrator dosis sumber radiasi gamma untuk mengkalibrasi peralatan terapi tumor dan kanker. Sel kanker lebih sensitif (lebih mudah rusak) terhadap radiasi dibandingkan dengan sel normal, sehingga radioisotop digunakan untuk membunuh sel kanker dengan mengatur arah dan dosis radiasi (A. Jalil, 2013).

Dosis ekivalen personal, HP (d), adalah dosis ekivalen pada jaringan di bawah titik tertentu tubuh pada kedalaman d. Besaran ini digunakan pada pemantauan radiasi perorangan, dan berlaku baik untuk radiasi tembus kuat maupun lemah. Untuk radiasi tembus kuat kedalaman yang direkomendasikan adalah 10 mm, sehingga HP (d) ditulis sebagai HP (10), sedang untuk radiasi tembus lemah kedalamannya 0,07 mm dan 3 mm sehingga HP (d) ditulis sebagai HP (0,07) dan HP (3) (IAEA, 2000).

Dosis ekivalen perorangan HP (10) dapat ditentukan dengan secara tidak langsung maupun pengukuran secara langsung. Penentuan dosis ekivalen perorangan HP(10) secara

tidak langsung dapat dilakukan dengan cara pengukuran kerma udara (KU) kemudian dikalikan dengan faktor konversi kerma udara ke besaran HP(10). Sedangkan pengukuran secara langsung dapat dilakukan dengan menggunakan detektor ionisasi HP (10) standar sekunder (Budiantari & Firmansyah, 2015).

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 (Knoll, K: 1989).

Kerma udara, K, menurut definisi adalah jumlah energi kinetik awal semua partikel pengion bermuatan yang dibebaskan oleh partikel tak bermuatan (*uncharged ionizing particles*) pada suatu bahan, dE_{tr} , dengan masa dm , sehingga dapat dituliskan dengan persamaan $K = dE_{tr}/dm$ dengan satuan Gy atau μGy . Karena suhu T dan tekanan P saat pengukuran tidak selalu dalam kondisi STP (suhu tekanan standar) maka perlu ada koreksi terhadap massa m dm . Besaran yang mempengaruhi pengukuran kerma udara adalah yang timbul dari alam yang berbeda seperti tekanan dan temperatur, yang timbul dari dosimeter seperti kebocoran, warmup dan yang timbul dari medan radiasi: kualitas berkas, laju dosis, ukuran lapangan, keberadaan radiasi hamburan. Besaran yang mempengaruhi didefinisikan sebagai besaran yang bukan pokok pengukuran tetapi mempengaruhi hasil pengukuran (Vienna: 2000).

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 (Knoll, K: 1989).

METODE PENELITIAN

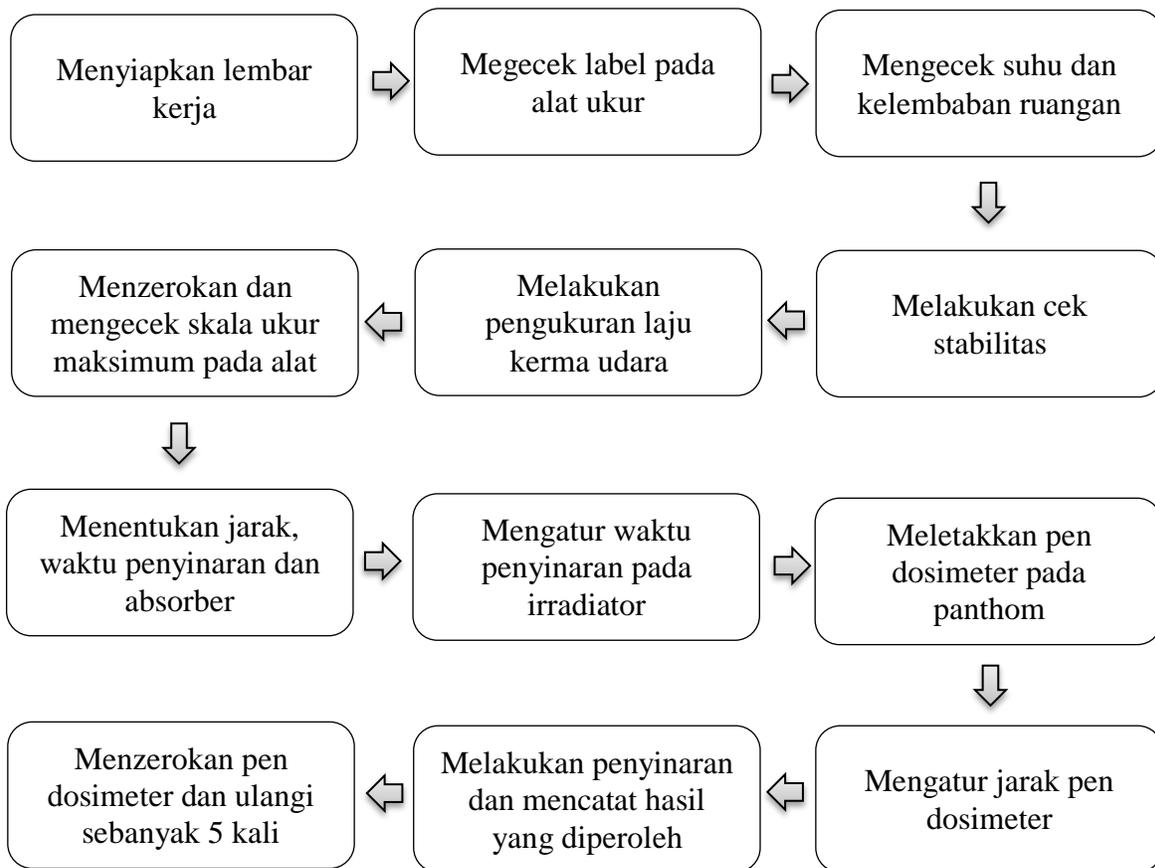
Praktikum ini dilaksanakan pada Selasa, 09 Agustus 2022 bertempat di Laboratorium Kalibrasi Alat Ukur Standar dan Radiasi (KAUSR), Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Makassar.

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktek ini adalah personal dosimeter (ARROW-TECH), *termohygrobarometer*, irradiator, sumber radiasi cesium-137, laser, mistar baja, kompressor, CCTV monitor, zero dosimeter, plaster dan panthom.

Adapun prosedur kerja pada pengukuran ini adalah pertama-tama menyiapkan lembar kerja, kemudian melakukan pengecekan label pada alat dan melakukan pendataan, mengecek suhu dan kelembaban ruangan, selanjutnya melakukan cek stabilitas dan pengukuran laju kerma udara lalu menzerokan dan mengecek skala ukur maksimum pada alat dosimeter saku gamma, kemudian menentukan jarak, waktu penyinaran dan absorber pada data acuan yang mendekati dari nilai 80% nilai skala maksimum alat ukur yang digunakan, dimana dalam hal ini dosimeter saku gamma, setelah itu mengatur waktu pada

irradiator sesuai waktu penyinaran yang ditetapkan, meletakkan dosimeter saku gamma (pen dosimeter) pada panthom dengan menggunakan plaster, mengatur jarak pen dosimeter sejauh 125 cm dari sumber radiasi, melakukan penyinaran dan mencatat hasil yang diperoleh pada alat selanjutnya menzerokan kembali pen dosimeter dan lakukan pengukuran sebanyak 5 kali.

Bagan Alir



HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel Hasil Pengamatan

Hasil Kegiatan

1. Data administrasi

- a. No. order : 001.335.40006
- b. Tanggal kalibrasi : 15 Agustus 2022
- c. No. Registrasi : 78.001.22.40006

2. Identitas Alat

- a. Merk : ARROW-TECH
 b. Model\type : W138
 c. No. Seri : 339003
 d. Resolusi alat : a.) Dosis: 0,1 (mSv) dosis equivalen personal
 $H_p^*(10)$
 b.) Laju dosis : -

3. Kondisi Ruang

- a. Suhu : 19,4 °C
 b. Kelembaban : 65,5 %
 c. Tekanan : 1001,3 mBar

4. Kondisi Fisik dan Fungsi

Bagian Alat	Fisik	Fungsi
a. Tombol	✓ Baik Tidak baik	✓ Baik Tidak baik
b. Display	✓ Baik Tidak baik	✓ Baik Tidak baik
c. Wadah Baterai / Baterai	✓ Baik Tidak baik	✓ Baik Tidak baik
d. Port Pengisi Sumber Daya (Jika Ada)	✓ Baik Tidak baik	✓ Baik Tidak baik
e. Clip / Penjepit Gantungan (Jika Ada)	✓ Baik Tidak baik	✓ Baik Tidak baik

5. Data Pengukuran Dosis

No.	Besaran	SDD (cm)	Waktu Penyinaran		Abs	Dosis Standar (mSv)	Radiasi Latar (mSv)	Bacaan Alat (mSv)					Faktor Kalibrasi	
			Menit	Detik				I	II	III	IV	V		

1.	Dosis Equivalen personal Hp (10)	125	-	3594	1	1,602	0	1,510	1,510	1,500	1,500	1,500	1,07
----	----------------------------------	-----	---	------	---	-------	---	-------	-------	-------	-------	-------	------

** Menggunakan Phantom*

Pembahasan

Kalibrasi merupakan kegiatan membandingkan nilai pembacaan alat yang dibandingkan dengan alat ukur standar yang mencakup uji fungsi, uji keselamatan, dan uji kinerja. Kalibrasi juga dilakukan sesuai prosedur yang telah ditetapkan (Kusumadewi, 2020). Selain itu, kalibrasi juga didefinisikan sebagai "serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dengan besaran yang diukur dalam kondisi tertentu" (JCGM200, 2008).

Personal dosimeter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur dosis radiasi secara akumulatif. Sehingga dosis radiasi yang mengenai dosimeter personal akan dijumlahkan dengan dosis yang mengenai sebelumnya. Dosimeter personal Nharus ringan dan berukuran kecil karena alat ini harus selalu dikenakan oleh setiap pekerja radiasi yang bekerja dimedan radiasi (Sita, dkk, 2018).

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh data pengukuran sebesar 1,510 mSv, 1,510 mSv, 1,500 mSv, 1,500 mSv dan 1,500 mSv. Sehingga diperoleh nilai faktor kalibrasi personal dosimeter sebesar 1,07. Dimana faktor kalibrasi dihasilkan dari perbandingan antara dosis standar dengan rata-rata hasil pengukuran.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa pengukuran ini sesuai dengan teori dimana idealnya faktor kalibrasi ini bernilai satu namun pada kenyataannya tidak banyak alat ukur yang mempunyai faktor kalibrasi sama dengan satu. Nilai faktor kalibrasi yang masih dapat diterima berkisar $1 \pm 20\%$ dengan nilai antara 0,8 - 1,2 (Lewis, dkk, 2005)

SIMPULAN

Berdasarkan uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa Kalibrasi adalah kegiatan membandingkan dua alat ukur standar. Alat ukur yang digunakan adalah personal dosimeter (ARROW TECH), dengan sumber radiasi Cs-137 sehingga diperoleh faktor kalibrasi sebesar 1,07. Adapun tujuan dari kalibrasi adalah untuk memastikan kesesuaian karakteristik terhadap spesifikasi dari suatu bahan ukur atau alat, menjamin keakuratan nilai

yang dihasilkan oleh suatu alat sehingga tidak menyimpang dari ambang batas yang ditentukan.

Alat dan bahan yang digunakan pada kalibrasi personal dosimeter adalah *Termohygrobarometer*, irradiator, dosimeter saku gamma (ARROW-TECH), monitor, sumber radiasi Cs 137, laser, mistar baja, kompressor, CCTV monitor, zero dosimeter, plaster dan phantom.

Adapun prosedur kerja pada kalibrasi personal dosimeter (pen dosimeter) ini adalah pertama-tama menyiapkan lembar kerja dan melakukan pengecekan label pada alat dan melakukan pendataan. Selanjutnya mengecek suhu dan kelembaban, kemudian menzerokan pendose dengan menggunakan alat zero dosimeter dan mengecek skala ukur. Setelah itu menghitung waktu penyinaran dan mengatur waktu pada irradiator sesuai waktu penyinaran yang diperoleh. Selanjutnya meletakkan dosimeter saku gamma (pendose) pada phantom dengan menggunakan plaster dan mengatur jarak pendose sejauh 125 cm dari sumber radiasi. Kemudian melakukan penyinaran dan mencatat hasil yang diperoleh pada alat. Setelah itu, menzerokan kembali personal dosimeter (pendose) dan lakukan pengukuran sebanyak 5 kali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pembuatan jurnal ini, rekan tim dan khususnya ibu Sitti Nurrahmi, S.Si., M.Sc dan ibu Nurul Fuadi, S.Si.,M.Si selaku dosen pembimbing sehingga penyusunan jurnal ini dapat telaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bapeten, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir NO. 1 Tahun 2006. *Laboratorium Dosimetri, Kalibrasi Alat Ukur Radiasi, Keluaran Sumber Radiasi Terapi, dan Standardisasi Radionuklida*. BAPETEN: Jakarta.
- Budiantari, C. T., & Firmansyah, A. F. 2015. Validasi Hasil Penentuan Dosis Tara Perorangan Hp (10) untuk Sumber Radiasi Gamma Cs-137 Di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) PTKMR BATAN. *In Prosiding Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir (pp. 102– 106)*. Jakarta.
- IAEA. 2000. *IAEA SRS-16: Safety Report Series Calibration of Radiation Protection Monitoring Instrument*.
- J. Sumanto, A. Jalil, Sukandar, dan Romadhon. 2013. Desain Perangkat Pengukur Aktivitas Dosis Pada Renograf, Prosiding Pertemuan Ilmiah Perekayasa Perangkat Nuklir, PRPN – BATAN, 14 November 2013, Serpong.
- JCGM200. 2008. *International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms*, Joint Committee for Guides in Metrology.

- Knoll, K. **1989**. *Fisika Modern (Terjemahan Hans Wopspakirk)*. Erlangga: Jakarta.
- Kusumadewi, K. D., Syaifudin, & Indrato. **2020**. DPM Dua Mode Dilengkapi Thermohygrometer dan Pemilihan Tekanan (Positive Pressure). *Jurnal Teknokes*. Sentral kalibrasi. **2016**. Parameter Alat Keliru Dapat Berakibat Fatal, Kasus Bayi Meninggal Di Incubator. *Article sentral kalibrasi*.
- Sita, Purjawati, dkk. **2018**. Analisis Hasil Kalibrasi Surveymeter Menggunakan Sumber 137cs Terkolimasi Dan Panoramik. Batan.
- V. Lewis, M.J. Woods, P. Burges, S. Green, J. Simpson and J.Wardle. **2005**. *Measurement Good Practice Guide No. 49, The Assessment of Uncertainty in Radiological Calibration and Testing*, National Physical Laboratory, UK.
- Vienna. **2000**. *International Atomic Energy Agency, Calibration Of Radiation Protection Monitoring Instruments*, Safety Series No. 16, IAEA.
- Yuliati, I., & Widayanti, M. R. **2020**. The Relationship Between Technological Skill Competency and Caring of Nursing Profession Students in Surabaya Region. *Jurnal Ilmiah Keperawatan (Scientific Journal of Nursing)*, 6(2), 231–243.
- Z. Alatas. **2009**. *Buku Pintar Nuklir*. BATAN: Jakarta.