
PENGARUH PENGGUNAAN FAKTOR KALIBRASI S-¹³⁷Cs PADA PENGUKURAN DOSIS SINAR-X DENGAN DETEKTOR IONISASI H_p(10) STANDAR SEKUNDER

The Effect of Use of ¹³⁷Cs Calibration Factor on X-Ray Dose Measurement using Secondary Standard H_p(10) Ionization Chamber

Assef Firnando F, Okky Agassy F, Sri Inang S dan Nurman R

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN, Lebak Bulus, Jakarta Selatan, Indonesia
email: firnando3154@gmail.com

Diterima: 10 April 2019, Direvisi: 26 Desember 2019, Disetujui: 5 Maret 2020

Abstrak

Ketertelusuran pengukuran adalah hal yang penting untuk dipastikan oleh setiap laboratorium kalibrasi. Ketertelusuran dapat diwujudkan dengan menerapkan faktor kalibrasi kepada pengukuran yang dilakukan. Faktor kalibrasi ini didapat dari laboratorium standar yang lebih tinggi. LDSS BATAN hanya memiliki ketersediaan faktor kalibrasi untuk detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder di sumber ¹³⁷Cs. Perlu dilakukan pengamatan pada proses pengukuran dosis ekuivalen H_p(10) pada sumber penyinaran sinar-x dengan menggunakan detektor ionisasi H_p(10) dan faktor kalibrasi yang tertelusur pada ¹³⁷Cs. Pengambilan data dilakukan dengan sumber sinar-X dan ¹³⁷Cs. Variasi yang dilakukan adalah variasi dosis dan energi radiasi. Didapatkan bacaan yang relatif konstan pada energi 65 keV hingga 250 keV dengan deviasi 7% dari data acuan normalisasi, sedangkan pada rentang energi 100 keV hingga 250 keV bacaan yang relatif konstan mendapatkan deviasi dibawah 3%. Hasil bacaan detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder yang linier terhadap variasi dosis penyinaran. Detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder mampu melakukan pengukuran variasi dosis penyinaran 0,1 mSv hingga 20 mSv yang diberikan. Sesuai dengan batas kesalahan akurasi untuk alat ukur radiasi di tingkat proteksi yaitu ± 20%, penggunaan faktor kalibrasi ¹³⁷Cs dapat digunakan untuk pengukuran dosis ekuivalen personal di sinar-X dengan menggunakan detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder karena hasil yang didapatkan masih dalam rentang yang diperbolehkan.

Kata kunci: detektor standar sekunder, dosis ekuivalen H_p(10), faktor kalibrasi, proteksi radiasi

Abstract

Traceability measurement was an important thing to be ascertained by each calibration laboratory. Traceability can be realized with apply calibration factors to the measurements. This calibration factor was obtained from a higher standard laboratory. LDSS BATAN only has the availability of calibration factors for secondary standard H_p(10) ionization chamber at a source ¹³⁷Cs. It was necessary to observe the process of measuring the equivalent dose of H_p(10) at the source of x-ray irradiation using the secondary standard H_p(10) ionization chamber and the calibration factor traced to ¹³⁷Cs. In this paper, the exposure was carried out by X-ray sources and ¹³⁷Cs for dose and radiation energy variations. We obtained relatively constant readings at energies of 65 keV to 250 keV with a deviation of 7% from the normalized reference data, while in the range of 100 keV to 250 keV relatively constant readings get deviations below 3%. The result obtained linear measurement on variations in dose according to changes in dose variation. The secondary standard H_p(10) ionization chamber was capable of measuring variations of radiation dose, i.e from variations of 0.1 mSv to 20 mSv. By the accuracy error limit for radiation protection level ± 20%, the use of the ¹³⁷Cs calibration factor can be used for measurement of personal equivalent doses on X-rays using secondary standard H_p(10) ionization chamber because the results obtained were still within the acceptable range.

Key Words: calibration factor, equivalent dose H_p(10), secondary standard chamber, radiation protection

1. PENDAHULUAN

Dosis ekuivalen perorangan H_p(10) dapat ditentukan dengan secara tidak langsung maupun pengukuran secara langsung (Budiantari & Firmansyah, 2015). Penentuan dosis ekuivalen perorangan H_p(10) secara tidak langsung dapat dilakukan dengan cara pengukuran kerma udara (Ku) kemudian dikalikan dengan faktor konversi kerma udara ke besaran H_p(10). Sedangkan pengukuran secara langsung dapat dilakukan

dengan menggunakan detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder.

Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) BATAN sebagai laboratorium dosimetri tingkat nasional mempunyai kewajiban untuk mengembangkan prosedur dan metode kalibrasi alat ukur radiasi (AUR). LDSS BATAN mempunyai detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder tipe T 34035/0046 buatan *Physikalisch-Technische Werkstatte* (PTW), Jerman. Detektor ionisasi H_p(10) standar sekunder ini

mampu mengukur langsung besaran $H_p(10)$ di udara.

Detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder sebagai instrumen untuk mengukur langsung besaran $H_p(10)$ mempunyai kelebihan lebih efisien, tidak memerlukan faktor konversi untuk mengkonversi ke besaran $H_p(10)$, dan tidak membutuhkan spektrometer untuk mengetahui distribusi spektrum foton (Ankerhold et al., 2001; Scarlet, Scarisoreanu, Badita, Mitru, & Vasilache, 2010). Detektor ini juga didukung oleh phantom PMMA yang telah teruji tingkat keseragaman berkasnya (Ankerhold & Ambrosi, 2010).

Metrological Laboratory of Ionizing Radiation (LMRI) Portugal juga telah mengembangkan detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder yang desainnya mengikuti desain buatan PTW, Jerman (Cardoso, Carvalho, & Oliveira, 2007; Oliveira, Cardoso, & Silva, 2015; Silva, Cardoso, & Oliveira, 2011). Hasil studi eksperimen dan simulasi menunjukkan performa yang hampir sama dengan detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder buatan PTW, Jerman. Penelitian terhadap penggunaan detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder sebagai instrumentasi untuk pengukuran besaran $H_p(10)$ secara langsung juga dilakukan oleh LDSS Munich, Jerman di tahun 2018 (Bandalo, Brönnner, Greiter, & Hoedlmoser, 2018).

Ketertelusuran pengukuran merupakan aspek penting untuk memastikan nilai dari sebuah pengukuran mendekati nilai sebenarnya. Untuk memastikannya, diperlukan faktor kalibrasi untuk mengoreksi bacaan dari setiap instrument pengukuran (Howarth & Redgrave, 2005). Idealnya, penggunaan faktor kalibrasi harus disesuaikan dengan kondisi saat kalibrasi. Faktor kalibrasi ^{137}Cs digunakan untuk pengukuran pada sumber radiasi ^{137}Cs , berlaku untuk sumber radiasi yang lainnya juga.

Faktor kalibrasi detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder milik LDSS BATAN tertelusur ke PTB Jerman. Hanya beberapa laboratorium metrology radiasi primer yang mampu untuk merealisasikan besaran operasional $H_p(10)$ (Kurasawa, Saito, Mazaraki, Litwin, & Butler, 2017).

Pada makalah ini dibahas mengenai pengamatan bacaan detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder T34035/0046 terhadap variasi dosis dan energi radiasi pada sumber sinar-X dengan pemakaian faktor kalibrasi sumber ^{137}Cs . Penggunaan faktor kalibrasi ^{137}Cs berdasarkan ketersediaan faktor kalibrasi yang dimiliki oleh LDSS BATAN. Hal ini didukung dengan

keunggulan dari detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder yang memiliki respon flat terhadap energi radiasi rata-rata (ketergantungan terhadap energi didapatkan rendah) (Ankerhold, Behrens, & Ambrosi, 1999).

Terdapat beberapa protokol dari institusi internasional terkait dengan level proteksi radiasi (Ambrosi, 2011; Cardoso, Santos, Carvalho, & Oliveira, 2016). Pada penulisan makalah ini pengambilan data dilakukan di laboratorium sinar-X milik LDSS BATAN yang menggunakan kualitas radiasi sinar-X sesuai ISO-4037. Besaran operasional yang dibahas sesuai dengan besaran operasional sesuai dengan International Commission Radiological Protection (ICRP) untuk level proteksi radiasi.

Sebagai Laboratorium Dosimetri Standar Nasional (LDTN), hasil dari penelitian ini akan dapat digunakan sebagai data acuan untuk pengembangan pelayanan di bidang dosimetri proteksi radiasi oleh laboratorium pemroses dosis ekuivalen perorangan $H_p(10)$ di seluruh Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dosis Ekuivalen Perorangan

Publikasi ICRP-60 tahun 1990 menyebutkan bahwa untuk penentuan dosis perorangan dari radiasi tembus kuat (*Strongly penetrating radiation*) digunakan dosis ekuivalen perorangan tembus (*individual equivalent dose penetrating*), $H_p(d)$, dengan d adalah kedalaman pengukuran sebesar 10 mm di bawah permukaan kulit. Untuk selanjutnya, dosis ekuivalen ini disebut dosis kedalaman dan diberi notasi $H_p(10)$.

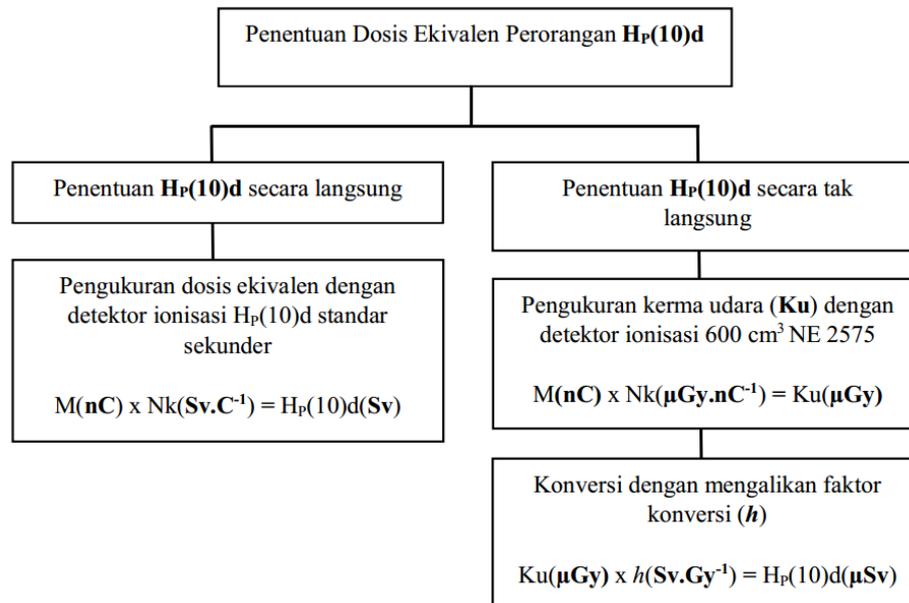
Dosis ekuivalen personal, $H_p(d)$, adalah dosis ekuivalen pada jaringan di bawah titik tertentu tubuh pada kedalaman d . Besaran ini digunakan pada pemantauan radiasi perorangan, dan berlaku baik untuk radiasi tembus kuat maupun lemah. Untuk radiasi tembus kuat kedalaman yang direkomendasikan adalah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

Penentuan dosis ekuivalen perorangan dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Penentuan secara langsung lebih efisien dan efektif karena tidak memerlukan konversi dari kerma udara (K_u) menjadi dosis ekuivalen perorangan. Gambar 1 menjelaskan perbedaan penentuan dosis ekuivalen perorangan secara langsung dan tidak langsung.

2.2. Detektor Ionisasi Hp(10) Standar Sekunder

Detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder dikembangkan oleh U. Ankerhold dari PTB

Jerman (Ankerhold *et al.*, 1999). Detektor ini dikembangkan untuk dapat mengukur besaran Hp(10) secara langsung tanpa melalui perhitungan konversi kerma udara.

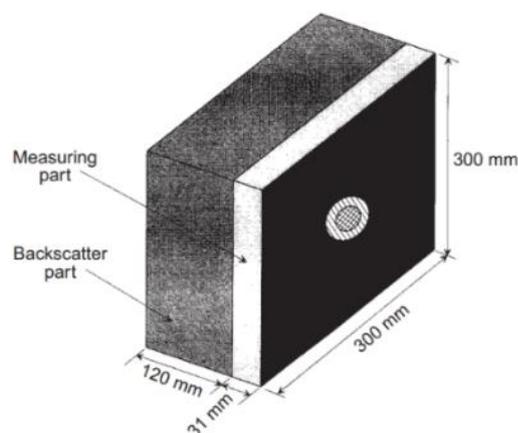


Gambar 1 Skematik pengukuran dosis ekuivalen secara langsung dan tidak langsung.

Detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder merupakan integrasi antara detektor ionisasi keping paralel (*measuring part*) dan *slab phantom (backscatter part)* yang terbuat dari material *polymethyl methacrylate* (PMMA). Volume aktif dari detektor ini adalah 10 cm³. Dimensi dari *measuring part* adalah 31 mm x 300 mm x 300 mm, sedangkan dimensi dari *slab phantom* adalah 120 mm x 300 mm x 300 mm.

Terdapat medan elektrik untuk memisah elektron dan muatan ion yang dikumpulkan oleh

dua elektroda paralel. Elektrode tegangan tinggi (*High Voltage*) didepan volume aktif detektor terbuat dari material *graphite* berbentuk layer dengan ketebalan 40 µm dan 100 mm diameter. Tegangan tinggi (HV) untuk operasional detektor ini adalah +300 V. Pengukuran langsung besaran Hp(10) menggunakan detektor kamar ionisasi ini menjadi lebih simpel dan lebih baik (Ankerhold *et al.*, 1999).



Gambar 2 Detektor Ionisasi Hp(10) Standar Sekunder (Cardoso *et al.*, 2007).

2.3. Pengukuran Kerma Udara

Kerma udara di suatu titik pengukuran yang mempunyai jarak r dari pusat sumber radiasi dengan kualitas radiasi R dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_u = M \times N_k \quad (1)$$

dengan :

- K_u : kerma udara dengan satuan Gy
- M : bacaan dosimeter terkoreksi kerapatan udara K_{PT} dengan satuan C

$$K_{PT} = \frac{273,15+T}{273,15+20} \times \frac{101,325}{P} \quad (2)$$

dengan :

- T : temperatur saat pengukuran dengan satuan $^{\circ}C$
- P : tekanan saat pengukuran dengan satuan kPa
- N_k : faktor kalibrasi kerma udara untuk satuan kualitas radiasi R dengan satuan Gy/C

2.4 Penentuan Dosis Ekuivalen Personal

Penentuan dosis ekuivalen personal, $H_p(10,R,\alpha)$ untuk berkas sinar-X dan berkas sinar gamma (γ) dengan kualitas radiasi (R) pada besar sudut datang (α) antara berkas radiasi dan garis normal pada permukaan detektor diberikan oleh persamaan :

$$H_p(10, R, \alpha) = M \times N_k \times k(R, \alpha) \times Q \quad (3)$$

dengan :

- N_k : faktor kalibrasi kerma udara untuk kualitas radiasi (R) dengan satuan Gy/nC
- M : bacaan dosimeter terkoreksi kerapatan udara K_{PT} dan telah dikurangi dengan bacaan cacah latar belakang dengan satuan C
- $k(R, \alpha)$: faktor konversi untuk kualitas radiasi (R) dengan satuan S/Gy
- Q : faktor kualitas radiasi (R)

Sedangkan penentuan besaran nilai $H_p(10)$ secara langsung dapat diperoleh melalui persamaan berikut (Ankerhold et al., 1999) :

$$H_p(10) = M \times N_{HP} \quad (4)$$

dengan :

- M : bacaan dosimeter terkoreksi kerapatan udara K_{PT} dan telah dikurangi dengan bacaan cacah latar belakang dengan satuan C
- N_{HP} : Faktor kalibrasi dalam besaran $H_p(10)$ dengan satuan Sv/C

2.5. Faktor Kalibrasi dan Ketertelusuran

Faktor kalibrasi (N) didefinisikan sebagai sebuah nilai konvensional sebenarnya yang didapatkan melalui pembagian antara nilai sebenarnya (H) dibagi dengan nilai bacaan dari sebuah instrumen (M) (IAEA, 2000).

$$N = \frac{H}{M} \quad (5)$$

- N : Faktor Kalibrasi
- H : Nilai sebenarnya dari sebuah instrument ukur
- M : Bacaan dari sebuah instrumen ukur

Faktor kalibrasi ini harus tertelusur kepada laboratorium primer yang memelihara standar satuan ukur. Hal ini sangat penting untuk sebuah jaminan mutu pengukuran.

Ketertelusuran adalah sebuah hubungan yang tertelusur, dapat dipertanggung jawabkan dan disertai dengan nilai ketidakpastian. Ketertelusuran ini menjamin bahwa sebuah nilai pengukuran terpaut dengan nilai suatu acuan yang lebih tinggi hingga standar primer (Howarth & Redgrave, 2005; Lisa R. Karam, 2014).

Faktor kalibrasi dari detektor ionsiasi $H_p(10)$ standar sekunder milik BATAN dengan sumber penyinaran ^{137}Cs yang tertelusur ke *Physikalisch-Technische Bundesanstalt* (PTB), Jerman sebesar $3,16 \cdot 10^6$ Sv/C.

3. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan terdiri dari detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder nomor serial T 34035/0046 yang dihubungkan dengan Elektrometer PTW Unidos Universal T10001/11814. Detektor ionisasi $H_p(10)$ standar sekunder dioperasikan pada tegangan kerja +400 Volt.

Sinar-X digenerasi oleh pesawat sinar-X YLON MGC41, sedangkan pesawat OB-85/1 Ns.874 untuk sumber ^{137}Cs . Pengukuran koreksi suhu kelembaban dan tekanan dilakukan dengan menggunakan Termometer RTD nomor serial 488488, Barometer nomor serial 8510, dan *Thermohyrometer*.



(a)



(a)



(b)



(b)



(c)

Gambar 3 Pengaturan Detektor Ionisasi Hp(10) standar sekunder

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder T 34035/0046 dengan variasi perubahan dosis dan energi radiasi pada sumber sinar-X dan ^{137}Cs . Penentuan kualitas sinar-X dilakukan dengan menggunakan konfigurasi *added filter* dan *Half Value Layer (HVL)* sesuai dengan spesifikasi energi pada spektrum *narrow* (IAEA, 2000). Ketebalan *added filter* dapat diketahui pada *Safety Report Series No. 16* yang diterbitkan oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)* atau pada sertifikat kalibrasi detektor ionisasi volume 600 cc NE 2575C /SN 576 No. IDN/2018/1 yang mengacu pada ISO 4037 kualitas radiasi sinar-X.

Variasi energi sinar-X yang digunakan sesuai dengan ISO 4037-1 spektrum *narrow* (N) dari N-40, hingga N-300 (Bandalo *et al.*, 2018; IAEA, 2000; Melhem, El Balaa, Younes, & Al Kattar, 2017), sedangkan variasi dosis yang digunakan dimulai dari dosis 0,1 mSv hingga 20 mSv. Pengambilan rentang variasi dosis sebesar 0,1 mSv hingga 20 mSv berdasarkan data kebutuhan laboratorium Tersier dalam pemrosesan dosimeter perorangan di Indonesia (Firmansyah, 2017). Pengukuran dilakukan pada jarak sumber radiasi ke detektor (*source to detector distance/SDD*) 200 cm dan sudut penyinaran 0° .

Gambar 4 Alat pendukung (a) kontroller Pesawat Sinar-X. (b) Elektrometer (c) Set alat ukur suhu, tekanan dan kelembaban.

Pengukuran dengan menggunakan sumber ^{137}Cs dilakukan pada SDD 200 cm dan pada sudut penyinaran 0° . Penyinaran sumber ^{137}Cs menggunakan Pesawat OB-85/1 Ns.874.

Pada penelitian ini digunakan nilai dosis 5 mSv untuk pengambilan data variasi energi radiasi. Penentuan lama waktu penyinaran untuk nilai dosis 5 mSv dapat ditentukan melalui pembagian nilai dosis 5 mSv dengan nilai laju besaran Hp(10) pada kualitas radiasi tersebut. Nilai laju besaran Hp(10) tersebut didapatkan melalui perhitungan pada persamaan 3 diatas. Nilai laju kerma udara (Ku) didapatkan dari perkalian M (bacaan) detektor ionisasi volume 600 cc NE 2575C/SN 576 dan Nk (faktor kalibrasi) didapatkan dari sertifikat kalibrasi detektor untuk masing-masing kualitas radiasi. Guna menjadikan besaran Hp(10), nilai laju Ku dikalikan dengan faktor konversi besaran Hp(10).

TABEL 1 Konfigurasi *Added Filter* dan *Half Value Layer* (HVL)

No	Kualitas Radiasi	Energi Rata-rata (keV)	Tebal <i>Added Filter</i> ^a	Tebal HVL ^b
1	N-40	33	0,21 mm Cu	2,72 mm Al
2	N-60	48	0,6 mm Cu	0,24 mm Cu
3	N-80	65	2 mm Cu	0,59 mm Cu
4	N-100	83	5 mm Cu	1,13 mm Cu
5	N-120	100	1 mm Sn + 5 mm Cu	1,75 mm Cu
6	N-150	118	2,5 mm Sn	2,42 mm Cu
7	N-200	164	1 mm Pb + 3 mm Sn + 2 mm Cu	3,92 mm Cu
8	N-250	208	3 mm Pb + 2 mm Sn	5,18 mm Cu
9	N-300	250	5 mm Pb + 3 mm Sn	6,20 mm Cu
10	S- ¹³⁷ Cs	662	-	-

^aKetebalan *added filter* berdasarkan SRS 16: Calibration of Radiation Protection Monitoring Instrument

^bKetebalan HVL berdasarkan sertifikat kalibrasi Detektor Ionisasi volume 600 cc NE 2575C/SN 576 No. IDN/2018/1

Setiap bacaan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder pada variasi kualitas energi sinar-X dinormalisir terhadap bacaan pada sumber ¹³⁷Cs. Normalisir dilakukan terhadap kualitas radiasi referensi yaitu sinar-X N-80(Firmansyah, 2017; Nazaroh, Trijoko, & Sunaryati, 2010).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Bacaan Detektor

Data penentuan laju kerma udara dari setiap konfigurasi HVL dan *Added filter* untuk setiap kualitas radiasi, beserta data konversi ke besaran Hp(10) untuk mencari lama waktu penyinaran nilai dosis 5 mSv disajikan pada Tabel 2. Laju kerma udara didapatkan dalam besaran Gy/menit.

TABEL 2 Data konversi Kerma Udara (Ku) ke besaran Hp(10).

No	Kualitas Radiasi	Energi Rata-rata (keV)	Laju Kerma Udara (Gy/menit)	Faktor Konversi ke Hp(10) ^a (Sv/Gy)	Laju Hp(10) (µSv/menit)	Lama Waktu Penyinaran ^b
1	N-40	33	0,872 ± 0,53	1,17	1020,5 ± 0,53	4 min 54 s
2	N-60	48	0,581 ± 0,52	1,65	959,1 ± 0,52	5 min 13 s
3	N-80	65	0,333 ± 0,52	1,88	626,8 ± 0,52	8 min
4	N-100	83	0,164 ± 0,51	1,88	308,7 ± 0,51	16 min 20 s
5	N-120	100	0,140 ± 0,51	1,81	253,6 ± 0,51	19 min 50 s
6	N-150	118	1,205 ± 0,51	1,73	2084,5 ± 0,51	2 min 24 s
7	N-200	164	1,061 ± 0,53	1,57	1666,1 ± 0,53	3 min
8	N-250	208	1,180 ± 0,54	1,48	1746,4 ± 0,54	2 min 52 s
9	N-300	250	0,395 ± 0,56	1,42	561,0 ± 0,56	8 min 55 s
10	S- ¹³⁷ Cs	662	0,110 ± 0,41	1,21	561,0 ± 0,41	37 min 41 s

^aBerdasarkan SRS 16: Calibration of Radiation Protection Monitoring Instrument

^bLama waktu penyinaran untuk dosis 5 mSv

Dari data tersebut didapatkan lama waktu penyinaran untuk nilai dosis 5 mSv pada setiap kualitas radiasi. Lama waktu penyinaran bervariasi, hal tersebut bergantung pada laju kerma udara yang didapatkan pada setiap kualitas radiasinya. Pada kualitas radiasi N-150 didapatkan laju kerma udara sebesar 1,205 Gy/menit, maka dari itu penyinaran dengan nilai dosis 5 mSv pada kualitas radiasi ini mendapatkan waktu yang paling singkat yaitu 2 menit 24 detik. Sedangkan penyinaran nilai dosis 5 mSv pada sumber ¹³⁷Cs memiliki waktu penyinaran yang paling lama, yaitu 37 menit 41 detik. Hal tersebut diakibatkan karena laju kerma udara pada sumber ¹³⁷Cs hanya sebesar 0,11 Gy/menit. Semakin besar laju kerma udara, maka

akan semakin cepat waktu penyinaran untuk sebuah nilai dosis yang ditentukan.

Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa bacaan pada sumber ¹³⁷Cs yang telah dikalikan dengan faktor kalibrasi mendapatkan nilai Hp(10) sebesar 4,9 mSv. Dosis yang diberikan adalah sebesar 5 mSv, jadi bacaan pada sumber ¹³⁷Cs mempunyai perbedaan 0,1 mSv dengan dosis yang diberikan. Hasil perhitungan deviasi yang dinormalisir terhadap bacaan pada sumber ¹³⁷Cs menunjukkan pengukuran pada kualitas radiasi N-60 memiliki deviasi paling besar, yaitu -7,3% dibandingkan bacaan pada kualitas radiasi lainnya. Diperolnya deviasi sebesar -7,3% tersebut nilai Hp(10) pada kualitas radiasi N-60 sebesar 4,5 mSv, mempunyai selisih 0,5 mSv dari

nilai dosis yang diberikan yaitu 5 mSv. Pada kualitas energi N-200 hingga N-250 didapatkan nilai besaran Hp(10) yang relatif sama dengan

bacaan pada sumber ¹³⁷Cs, dengan deviasi bacaan berkisar hingga ±1,5%.

Tabel 3 Data pengukuran detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder untuk variasi energi radiasi

No	Kualitas Radiasi	Energi Rata-rata (keV)	M Hp(10) (nC)	Faktor Kalibrasi S- ¹³⁷ Cs (N _H) (Sv/C)	Besaran Hp(10) (mSv)	Normalisir	Deviasi terhadap bacaan pada S- ¹³⁷ Cs
1	N-40	33	1,441	3,16.10 ⁶	4,6 ± 3%	0,929	-7,1%
2	N-60	48	1,438		4,5 ± 3%	0,927	-7,3%
3	N-80	65	1,443		4,6 ± 3%	0,931	-6,9%
4	N-100	83	1,496		4,7 ± 3%	0,965	-3,5%
5	N-120	100	1,514		4,8 ± 3%	0,976	-2,4%
6	N-150	118	1,533		4,8 ± 3%	0,988	-1,2%
7	N-200	164	1,574		5,0 ± 3%	1,015	1,5%
8	N-250	208	1,564		4,9 ± 3%	1,008	0,8%
9	N-300	250	1,560		4,9 ± 3%	1,006	0,6%
10	S- ¹³⁷ Cs	662	1,551		4,9 ± 3%	1,000	0,0%

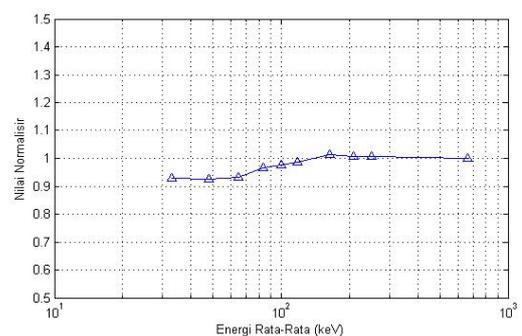
Deviasi pada sinar-X kualitas radiasi N-80 hingga N-300 masih dibawah ±7% dengan kata lain detektor ionisasi Hp(10) mempunyai bacaan yang relatif konstan pada energi 65 keV hingga 250 keV (kualitas energi N-80 hingga N-250) terhadap nilai normalisasi yaitu bacaan yang telah dikalikan dengan sumber ¹³⁷Cs pada energi 662 keV. Untuk deviasi dibawah 3%, bacaan relatif konstan terdapat pada rentang energi 100 keV hingga 250 keV (kualitas energi N-120 hingga N-250).

Batas kesalahan akurasi pengukuran untuk alat ukur radiasi di level proteksi sebesar ±20%(Jensen & Linborg, 1980; National Bureau of Standard, 1981; Podgorsak, 2005). Berdasarkan data diatas, penggunaan faktor kalibrasi pada sumber ¹³⁷Cs untuk pengukuran sinar-X dapat masih dalam rentang yang diperbolehkan karena deviasi masih berkisar ±7%.

Meskipun bacaan yang didapatkan masih di dalam rentang yang diperbolehkan, penulis merekomendasikan untuk sebaiknya pengukuran sinar-X dengan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder tetap menggunakan faktor kalibrasi sinar-X, bukan dengan faktor kalibrasi di sumber ¹³⁷Cs. Hal ini sesuai dengan pengertian faktor kalibrasi yang hanya dapat digunakan untuk sebuah kualitas radiasi (sesuai dengan kondisi referensi saat kalibrasi) (Howarth & Redgrave, 2005).

Detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder mempunyai ketergantungan rendah terhadap

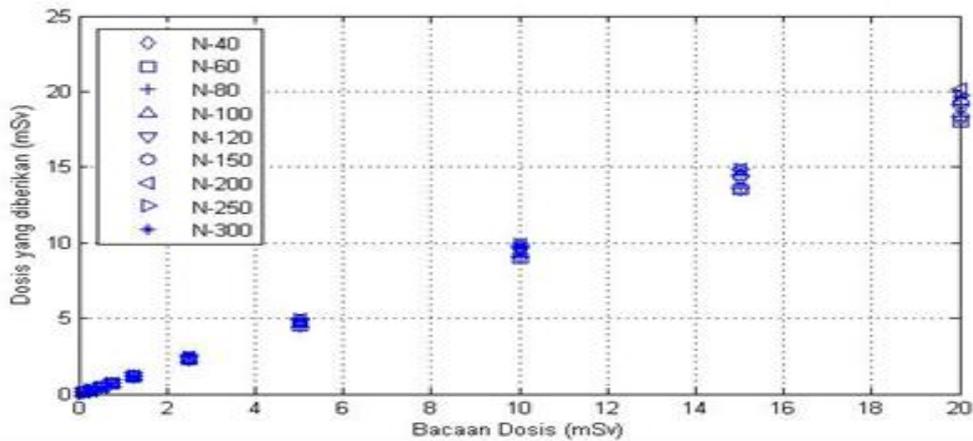
energy (Ankerhold *et al.*, 1999). Namun, hal tersebut tetap menyumbangkan kesalahan dalam pengukuran, karena sumber ¹³⁷Cs dan sinar-X memiliki perbedaan dari panjang gelombang dan energi rata-rata foton. Setiap fasilitas sinar-x di laboratorium memiliki spectrum yang berbeda-beda, hal tersebut juga dapat menyumbang perbedaan dalam pengukuran menggunakan sebuah detektor (Ankerhold *et al.*, 1999). Selain itu, penggunaan faktor kalibrasi yang sesuai juga bertujuan untuk menjamin ketertelusuran pengukuran ke standar yang lebih tinggi.



Gambar 5 Grafik bacaan detektor ionisasi Hp(10) yang diormalisir ke Faktor Kalibrasi S-¹³⁷Cs.

4.2 Linieritas Bacaan Detektor Terhadap Variasi Dosis Radiasi

Penentuan lama waktu penyinaran untuk sebuah nilai dosis dilakukan seperti pembahasan sebelumnya. Berikut merupakan data bacaan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder terhadap variasi dosis radiasi.



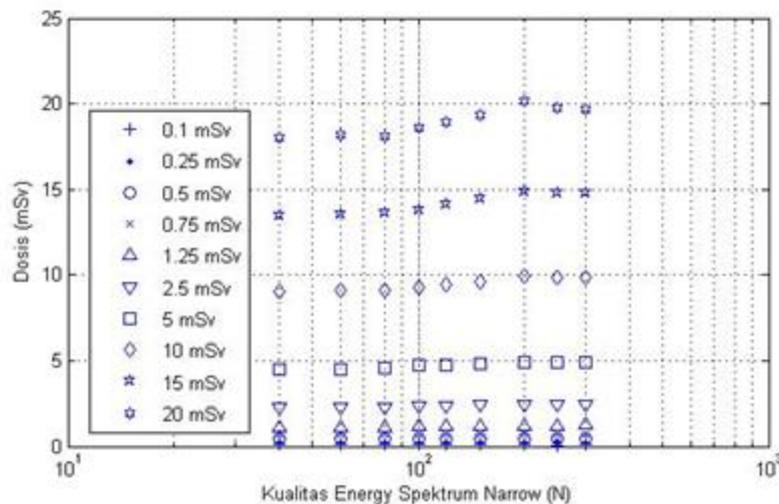
Gambar 6 Bacaan Detektor Ionisasi Hp(10) Standar Sekunder terhadap variasi dosis penyinaran.

Pada grafik diatas dapat diketahui bahwa bacaan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder diketahui linier terhadap variasi dosis penyinaran yang diberikan, yaitu dari variasi 0,1 mSv hingga 20 mSv. Korelasi (R^2) antara sumbu x (dosis yang diberikan) dan dosis yang terukur oleh detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder disetiap kualitas radiasinya menunjukkan nilai rata-rata $R^2 = 0,999$.

Seperti pada pembahasan sebelumnya, bacaan yang relatif konstan dengan deviasi kurang dari 3% terdapat pada rentang energi 100 keV hingga 250 keV (kualitas energi N-120 hingga N-300). Pada Gambar 5 dapat diketahui data cenderung fluktuatif pada rentang energi 33 keV

hingga 83 keV (kualitas energi N-40 hingga N-100), setelah itu data pengukuran relatif lebih konstan hingga energi 250 keV (N-300).

Bacaan konstan tersebut tidak diikuti dengan akurasi bacaan detektor terhadap dosis penyinaran yang diberikan. Gambar 7 merupakan grafik data variasi dosis yang telah dikalikan dengan faktor kalibrasi S-¹³⁷Cs yaitu 3.16×10^6 Sv/C. Grafik menunjukkan adanya perbedaan pembacaan oleh detektor ionisasi Hp(10) pada per variasi dosis. Hal tersebut dapat terjadi karena dipengaruhi oleh penggunaan faktor kalibrasi S-¹³⁷Cs terhadap bacaan detektor ionisasi Hp(10) dengan sumber penyinaran sinar-X.



Gambar 7 Bacaan Detektor per variasi dosis pada tiap rentang energi radiasi

5. KESIMPULAN

Penggunaan faktor kalibrasi S-¹³⁷Cs terhadap bacaan detektor ionisasi Hp(10) dengan sumber penyinaran sinar-X telah dilakukan dan memperoleh hasil bacaan yang relatif konstan n

pada energi 65 keV hingga 250 keV (kualitas energi N-80 hingga N-250) dengan deviasi kurang dari 7% dari acuan normalisasi sumber ¹³⁷Cs pada energi 662 keV, sedangkan untuk deviasi kurang dari 3%, bacaan relatif konstan didapatkan pada rentang energi 100 keV hingga

250 keV (kualitas energi N-120 hingga N-250. Linieritas bacaan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder terhadap variasi dosis penyinaran didapatkan hasil yang linier sesuai dengan perubahan variasi dosis.

Sesuai dengan batas kesalahan akurasi untuk alat ukur radiasi di tingkat proteksi yaitu $\pm 20\%$, penggunaan faktor kalibrasi ^{137}Cs untuk pengukuran dosis ekuivalen personal di sinar-X masih diperbolehkan karena hasil yang didapatkan masih dalam rentang yang diperbolehkan. Meskipun demikian, penulis merekomendasikan untuk penggunaan faktor kalibrasi harus disesuaikan dengan sumber yang digunakan. Penggunaan detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder pada sumber ^{137}Cs harus dikalikan dengan faktor kalibrasi sumber ^{137}Cs , begitu pula untuk sumber yang lainnya sinar-X dengan faktor kalibrasi yang dikalibrasi pada kondisi referensi sinar-X.

Detektor ionisasi Hp(10) standar sekunder mampu melakukan pengukuran variasi dosis penyinaran yang diberikan, yaitu dari variasi 0,1 mSv hingga 20 mSv.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh staff Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) PTKMR BATAN karena telah membantu pelaksanaan penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambrosi, P. (2011). International standards for radiation protection. *Radiation Protection Dosimetry*, 144(1–4), 26–32. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq433>
- Ankerhold, U., & Ambrosi, P. (2010). Influence of the uniformity of the slab phantom illumination on the calibration of personal dosimeters. *Radiation Protection Dosimetry*, 140(1), 9–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/rpd/ncq036>
- Ankerhold, U., Ambrosi, P., Eberle, T., Bartlett, D. T., Böhm, J., & Hyvönen, H. (2001). A chamber for determining the conventionally true value of Hp(10) and H*(10) needed by calibration laboratories. *Radiation Protection Dosimetry*, 96(1–3), 133–137. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006569>
- Ankerhold, U., Behrens, R., & Ambrosi, P. (1999). A prototype ionisation chamber as a secondary standard for the measurement of personal dose equivalent, H(p)(10), on a slab phantom. *Radiation Protection Dosimetry*, 86(3), 167–173. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a032939>
- Bandalo, V., Bröner, J., Greiter, M. B., & Hoedlmoser, H. (2018). A Fully Automated Secondary Standard X-Ray Calibration Facility for Personal Dosimeters. *Radiation Protection Dosimetry*, 184(1), 73–78. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncy187>
- 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.
- Cardoso, J., Carvalho, A. F., & Oliveira, C. (2007). Simulation studies on a prototype ionisation chamber for measurement of personal dose equivalent, Hp(10). *Radiation Protection Dosimetry*, 125(1–4), 175–179. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncm207>
- Cardoso, J., Santos, L., Carvalhal, G., & Oliveira, C. (2016). Comparison methodologies for calibration of Hp(10) personal dosimeters using ISO 4037 and ISO 29661 standards. *Radiation Protection Dosimetry*, 170(1–4), 136–140. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw126>
- Firmansyah, A. F. (2017). Interkomparasi Dosis Ekuivalen Perorangan Hp(10) dan Hp(3) menggunakan TLD/Film Tahun 2017. In *PPIPD-IPTN* (pp. 87–90).
- Howarth, P., & Redgrave, F. (2005). Metrologi : Sebuah Pengantar. In A. P. Drijarkara (Ed.) (2nd ed., p. 15). Jakarta: Pusat Penelitian Kalibrasi, Instrumentasi dan Metrologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (Puslit KIM-LIPI).
- IAEA. (2000). *IAEA SRS-16: Safety Report Series Calibration of Radiation Protection Monitoring Instrument*.
- Jensen, M., & Linborg, L. (1980). Calibration of Reference Instruments used in Diagnostic X-Rays. In *Proceedings of a Symposium Biomedical Dosimetry: Physical Aspects, Instrumentation, Calibration* (pp. 367–376).
- Kurasawa, T., Saito, N., Mazaraki, J., Litwin, M., & Butler, D. J. (2017). Comparison of Personal Dose Equivalent Hp(10) in CS-137

- Radiation Between The Primary Standards Laboratories of Japan and Australia using BeO OSL Personal Dosimeters. *Radiation Protection Dosimetry*, 178(2), 235–241. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncx091>
- Lisa R. Karam. (2014). Measurement traceability in medical physics. *Journal of Medical Physics*, 39(1), 1–3. <https://doi.org/10.4103/0971-6203.125470>
- Melhem, N., El Balaa, H., Younes, G., & Al Kattar, Z. (2017). Characteristics of the narrow spectrum beams used in the Secondary standard dosimetry laboratory at the Lebanese atomic energy commission. *Radiation Protection Dosimetry*, 175(2), 252–259. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw293>
- National Bureau of Standard. (1981). *Requirements for an Effective National Ionizing Radiation Measurements Program. National Bureau of Standards Special Publication* (Vol. 601).
- Nazaroh, Trijoko, S., & Sunaryati, S. I. (2010). Interkomparasi Pengukuran Output Iradiator Cs 137 dan Personal Dose Equivalent, Hp(10), Menggunakan TLD dan Film. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, XI(1), 13–36. <https://doi.org/10.17146/jstni.2010.11.1.585>
- Oliveira, C., Cardoso, J., & Silva, H. (2015). A comparative study of three ionizing chambers for measurements of personal dose equivalent, Hp(10). *Radiation Physics and Chemistry*, 116(10), 82–86. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2015.03.008>
- Podgorsak, E. B. (2005). Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students Chapter 4 Radiation Monitoring Instrument. In E. B. Podgorsak (Ed.), *International Atomic Energy Agency* (pp. 101–121). Vienna: IAEA. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6604224>
- Scarlat, F., Scarisoreanu, A., Badita, E., Mitru, E., & Vasilache, R. (2010). Measurement with Hp(10) and H*(10) secondary standard chambers at NILPRP 7 MeV linear accelerator. *Radiation Measurements*, 45(10), 1574–1577. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2010.06.056>
- Silva, H., Cardoso, J., & Oliveira, C. (2011). Development of a new ionisation chamber, for Hp(10) measurement, using Monte-Carlo simulation and experimental methods. *Radiation Protection Dosimetry*, 144(1–4), 246–248. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncq544>