

INTERKOMPARASI PENGUKURAN OUTPUT IRADIATOR ^{137}Cs DAN PERSONAL DOSE EQUIVALENT, Hp(10) MENGGUNAKAN TLD DAN FILM

Nazaroh, Susetyo Trijoko, dan Sri Inang Sunaryati

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN
Jl. Lebakbulus Raya No. 49, Jakarta 12070
e-mail: nazaroh@batan.go.id

ABSTRAK

INTERKOMPARASI PENGUKURAN OUTPUT IRADIATOR ^{137}Cs DAN PERSONAL DOSE EQUIVALENT, Hp(10), MENGGUNAKAN TLD DAN FILM. Telah dilakukan kegiatan interkomparasi pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs dan *personal dose equivalent*, Hp(10), menggunakan TLD dan film pada tahun 2006-2008. Menurut rekomendasi IAEA, interkomparasi merupakan salah satu kegiatan audit namun lebih ditekankan pada semangat kolaborasi dan dukungan dari pada semangat inspeksi. Interkomparasi bertujuan untuk menilai kompetensi partisipan dan memelihara ketertelusuran serta menjaga konsistensi hasil pengukuran. Di samping itu, untuk meyakinkan bahwa alat bekerja dengan benar dan hasil evaluasi telah memenuhi ketentuan yang berlaku serta dalam rangka memenuhi salah satu klausul yang tertera dalam ISO-17025-2005. Manfaat interkomparasi adalah untuk memudahkan jalinan antara anggota dan sistem pengukuran nasional, serta untuk pertukaran pengalaman dalam teknik pengukuran dan evaluasi dosis radiasi. Di samping sebagai alat uji profisiensi dalam pengukuran atau evaluasi dosis, secara tidak langsung interkomparasi berdampak pada peningkatan mutu layanan dan dalam rangka memenuhi legislasi Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Pada kegiatan ini, TLD digunakan untuk interkomparasi pengukuran *output* sedangkan TLD dan film untuk evaluasi dosis. Pada makalah ini disajikan hasil interkomparasi pengukuran *output* dan *personal dose equivalent*, Hp(10) tahun 2006-2008 yang diikuti oleh 6 peserta: Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta, Medan, Surabaya, Makassar, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) dan Laboratorium Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan (KKL)-PTKMR BATAN. Pada interkomparasi pengukuran *output*, dosis yang dinyatakan oleh peserta dibandingkan dengan dosis yang diukur Laboratorium Metrologi Radiasi (LMR), dan hasilnya masih dalam rentang $\pm 10\%$, sehingga dianggap memuaskan. Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, Hp(10), dievaluasi berdasarkan analisis ISO/IEC Guide 43-1, 1997 dan dinyatakan sebagai E_n . Nilai E_n (Lab) yang diperoleh ≤ 1 , maka dianggap memuaskan, tetapi satu Lab mempunyai nilai $E_n > 1$, sehingga dinyatakan kurang memuaskan.

Kata kunci: interkomparasi, *output*, iradiator ^{137}Cs , *personal dose equivalent*, Hp(10), TLD.

ABSTRACT

THE INTERCOMPARISON OF ^{137}Cs IRRADIATOR OUTPUT MEASUREMENT AND PERSONAL DOSE EQUIVALENT, Hp(10), USING TLD AND FILM. Intercomparison of output measurement of ^{137}Cs irradiator and personal dose equivalent, Hp(10) using TLD and film have been carried out in the year of 2006 to 2008. According to IAEA recommendation, intercomparison is one of audit activities but it is performed in the spirit of collaboration and support rather than in the spirit of inspection. The aim of intercomparison of output measurement of ^{137}Cs irradiator is to verify the dose stated by the participant laboratories. Intercomparison is also to assess the competency of the participant, to keep traceability and consistency of measurement result, to assure that instrument work correctly and the result of evaluation was in agreement, and also for fulfilling one of the clauses of ISO-17025-2005. Besides that, this intercomparison aimed to facilitate link between the system and members of national measurement and transfer of experience in measurement technique and dose evaluation of radiation. The benefit of intercomparison is important among others as tests of proficiency in dose evaluation or measurement, upgrading quality of service and for obeying supervisor body legislation (BAPETEN). TLD was used as a means of output ^{137}Cs irradiator

measurement, whereas film and TLD were used for dose intercomparison. This paper presented result of intercomparison of output measurement and evaluation of personal dose equivalent, $H_p(10)$ in the year of 2006 to 2008 followed by 6 participants: Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Jakarta, Medan, Surabaya, Makassar, PTLR and Laboratory of Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan (KKL)-PTKMR BATAN. In this intercomparison, the dose of TLD stated by participant were compared with the dose measured by Radiation Metrology Laboratory (LMR), and the results showed the differences were within 10 %, so it was satisfied. The results of intercomparison of personal dose equivalent, $H_p(10)$ were evaluated based on ISO/IEC Guide 43-1, 1997 analysis and expressed as E_n . The values of E_n obtained were ≤ 1 , so they were satisfied. However, one Lab had E_n value > 1 , so it was unsatisfied.

Key words: intercomparison, output, irradiator ^{137}Cs , personal dose equivalent, $H_p(10)$, TLD.

1. PENDAHULUAN

Paparan radiasi pada pekerja dapat terjadi sebagai akibat dari aktivitas kegiatan manusia seperti pekerjaan daur ulang bahan bakar nuklir, pemanfaatan sumber radiasi dan zat radioaktif, pesawat linac, pesawat sinar-X di bidang kedokteran, di lembaga penelitian, pendidikan, pertanian dan industri serta pekerjaan-pekerjaan yang berkaitan dengan penanganan radionuklida alam konsentrasi tinggi. Untuk mengontrol paparan akibat pekerjaan tersebut diperlukan alat ukur radiasi atau detektor radiasi (1, 2).

Berkaitan dengan kegiatan di medan radiasi tersebut, Pasal 10 Peraturan Pemerintah No 63 tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemantauan Radiasi Pengion menetapkan bahwa (3):

1. Pengusaha instalasi harus mewajibkan setiap pekerja radiasi untuk memakai peralatan pemantau dosis perorangan, sesuai dengan jenis instalasi dan sumber radiasi yang digunakan
2. Peralatan pemantau dosis perorangan sebagaimana dimaksud dalam ayat 1 harus diolah dan dibaca oleh instansi

atau badan yang telah terakreditasi dan ditunjuk oleh Badan Pengawas

3. Persyaratan untuk dapat ditunjuk sebagaimana dimaksud dalam ayat 2 diatur lebih lanjut dengan keputusan Kepala BAPETEN

Pedoman Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan diatur dalam Keputusan Kepala BAPETEN No 02-P/Ka BAPETEN/I-03 (4) dan Pedoman Keselamatan Kerja terhadap Radiasi diatur dalam Keputusan Kepala BAPETEN No. 01/Ka-BAPETEN/V-99 (5). Untuk itu setiap Pengusaha Instalasi harus mematuhi aturan yang ada sehingga pekerja radiasi mendapatkan perlindungan keselamatan radiasi.

Publikasi tentang proteksi radiasi dan keselamatan sumber-sumber radiasi telah dibuat oleh IAEA bekerja sama dengan organisasi internasional ILO (*International Labour Organization*), ICRP (*International Commission on Radiological Protection*), ICRU (*International Commission on Radiation Units and Measurements*), yang berisi tentang tujuan, konsep dan prinsip-prinsip proteksi dan keselamatan radiasi.

Peraturan tersebut telah ditetapkan dalam bentuk BSS (*Basic Safety Standards*) No: 15 untuk proteksi terhadap radiasi pengion dan untuk keselamatan sumber-sumber radiasi (6).

Thermo luminescent dosimeter (TLD) dan film merupakan salah satu jenis detektor yang biasa digunakan untuk mengukur dosis atau paparan radiasi eksterna yang diterima pekerja radiasi. TLD dan film memiliki keunggulan masing-masing. TLD memiliki sensitivitas cukup tinggi, akurat untuk monitor dosis radiasi perorangan dan lingkungan, stabil dalam waktu yang panjang, responnya linier, mampu mengukur dosis dalam rentang yang besar, mudah dalam memproses dan dapat digunakan kembali setelah dibaca, sedang film dapat menyimpan data pengukuran dalam waktu tertentu dan lebih murah namun memiliki *fading* yang cukup besar dan pemrosesannya memakan waktu lebih lama dibandingkan dengan TLD (6).

TLD dan film baru dapat digunakan sebagai detektor radiasi yang akurat bilamana telah ditentukan karakteristiknya dan dikalibrasi. Dosis yang diberikan pada TLD dan film saat kalibrasi harus akurat. Oleh sebab itu untuk mendukung program keselamatan radiasi sangat penting dilakukan kegiatan interkomparasi pengukuran *output* pesawat iradiator ^{137}Cs milik peserta.

Laboratorium Metrologi Radiasi, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (LMR-PTKMR) BATAN sebagai Laboratorium Acuan Nasional memiliki tanggung jawab untuk merealisasikan masalah keselamatan radiasi dengan

menyelenggarakan interkomparasi pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs dan *personal dose equivalent*, Hp(10). Adapun peserta interkomparasi pengukuran *output* adalah Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Medan, Jakarta, Surabaya dan Makassar, sedang peserta evaluasi dosis adalah BPFK Medan, Jakarta, Surabaya, Makassar, Laboratorium Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan (KKL) PTKMR dan Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) BATAN.

Interkomparasi adalah kegiatan membandingkan suatu pengukuran fisik. Menurut rekomendasi IAEA, interkomparasi merupakan salah satu kegiatan audit namun lebih ditekankan pada semangat kolaborasi dan dukungan dari pada semangat inspeksi. Dan hal tersebut dapat dimungkinkan bila ada kerjasama dari pengguna. Tujuan khusus audit dosis menggunakan TLD adalah untuk memverifikasi dosis yang dinyatakan oleh *user*. Verifikasi dosis adalah cara yang paling tepat untuk memeriksa ketepatan pengukuran dosis.

Interkomparasi dapat menjaga ketertelusuran dan memelihara konsistensi hasil pengukuran, memenuhi salah satu persyaratan ISO-17025-2005, memudahkan jalinan antara anggota dan sistem pengukuran nasional dosis radiasi serta untuk pertukaran pengalaman dalam teknik pengukuran dan evaluasi dosis radiasi. Apabila dosis yang dinyatakan oleh *user* dibandingkan dengan dosis TLD yang dievaluasi oleh Laboratorium Metrologi Radiasi PTKMR BATAN masih dalam rentang $\pm 10\%$ maka dianggap memuaskan.

IAEA biasa menggunakan TLD

sebagai standar acuan untuk audit mutu dosis pada tingkat proteksi maupun terapi, demikian juga Laboratorium Metrologi Radiasi, PTKMR-BATAN menggunakan TLD untuk kegiatan interkomparasi pengukuran *output* dan evaluasi dosis gamma.

Pada makalah ini disajikan hasil interkomparasi pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs dan evaluasi dosis gamma tingkat proteksi tahun 2006-2008.

2. TEORI

Secara komersial, TLD tersedia dalam bermacam tipe bahan dan bentuk. Tipe bahan TLD diantaranya $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$, LiF , CaSO_4 , CaF_2 dengan berbagai tipe pengotornya, sedang bentuknya ada yang berbentuk *chip*, *rod*, *powder* dan *bulb*. TLD *rod* yang digunakan pada kegiatan ini terbuat dari bahan $\text{LiF}:\text{Ti},\text{Mg}$; berukuran panjang 6 mm, tebal dan tinggi 1 mm, memiliki nomor atom efektif, Z_{eff} : 8,3; puncak utama (*main peak*) 300°C , dan maksimum pancaran (*emission maximum*) 400 nm, serta *fading* dalam ruang gelap pada temperatur 25°C sebesar 5% per tahun (7). TLD ini digunakan untuk kegiatan interkomparasi pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs .

Dosimeter film yang digunakan untuk kegiatan interkomparasi evaluasi *personal dose equivalent*, $\text{Hp}(10)$, adalah film kodak tipe-2 yang terbuat dari bahan selulosa asetat yang berlapis emulsi cepat dan lambat. Emulsi terbuat dari bahan *gelatine* dan AgBr yang peka cahaya sehingga mampu mengabsorpsi radiasi berdasarkan dosis radiasi yang datang.

Untuk melaksanakan kegiatan pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs ($E = 661 \text{ keV}$), peserta interkomparasi menerima 4 buah TLD dari Laboratorium Metrologi Radiasi. Tiga buah TLD disinari dengan dosis masing-masing sebesar 5 mGy, sedang 1 buah TLD tidak disinari (kontrol). Sebelum menyinari TLD, *output* atau kerma udara iradiator ^{137}Cs harus diukur oleh peserta pada jarak 200 cm menggunakan alat ukur standar yang telah dikalibrasi.

Kerma udara, K dengan satuan Gy atau μGy didefinisikan sebagai (7, 8):

$$K = dE_{\text{tr}}/dm \quad (1)$$

dE_{tr} : jumlah energi kinetik awal dari semua partikel bermuatan yang dilepaskan oleh partikel tidak bermuatan dalam suatu masa bahan, dm

Laju kerma udara (K_u) adalah dK/dt , dimana dK adalah pertambahan kerma dalam interval waktu dt . Satuan laju kerma udara adalah $\mu\text{Gy/s}$ atau $\mu\text{Gy/h}$. Secara operasional laju kerma udara dapat diukur dan dihitung dengan persamaan berikut :

$$K_u = \frac{R}{t} \times k_{\text{PT}} \times N_k \quad (2)$$

R : bacaan rata-rata dosimeter (nC),
 t : waktu pengukuran (s),
 k_{PT} : koreksi tekanan dan suhu udara terhadap kondisi standar ($P_0=1013 \text{ mbar}$, $T_0=20^\circ\text{C}$)
 N_k : koefisien kalibrasi kerma udara ($\mu\text{Gy/nC}$)

Untuk memberikan dosis yang diinginkan, D_i , lama iradiasi TLD, t , dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$t = D_i/K_u \quad (3)$$

D_i = Dosis yang diinginkan (μGy)
 K_u = laju dosis pesawat (pada jarak

$t = \frac{200 \text{ cm} (\mu\text{Gy/s})}{\text{waktu yang diperlukan untuk iradiasi (s)}}$

Besaran dosimetri operasional yang disarankan dalam *Basic Safety Standard* (BSS) No.115 tahun 1996 (6), untuk monitor perorangan adalah Hp(d) yang didefinisikan sebagai *dose equivalent* dalam jaringan lunak di dalam tubuh pada kedalaman d. Besaran dosis yang digunakan untuk interkomparasi adalah *personal dose equivalent*, Hp(10). Besaran dosis ini digunakan untuk memperkirakan dosis efektif yang diterima pekerja radiasi, pada kedalaman 10 mm.

Koefisien konversi *slab phantom* pada sudut kedatangan normal (0°) adalah 1,21 untuk ¹³⁷Cs dan untuk sinar-X = 1,22.

untuk ¹³⁷Cs: Hp(10) = 1,21 x K_u (mSv) (4)

untuk sinar-x Hp(10) = 1,22 x K_u (mSv) (5)

Hasil interkomparasi evaluasi *personal dose equivalent*, Hp(10), dianalisis berdasarkan ISO Guide 43-1, 1997 (9, 10).

$$\delta = |\text{Dosis(Lab)} - \text{Dosis(LMR)}| \quad (6)$$

$$E_1 = \frac{|\delta|}{\sqrt{\{(U_{95\text{Lab}})^2 + (U_{95\text{LMR}})^2\}}} \quad (7)$$

Dosis (Lab) : Dosis yang dinyatakan oleh LAB

Dosis (LMR) : Dosis yang dievaluasi oleh LMR

U_{95Lab} : nilai ketidakpastian yang dinyatakan oleh Lab.

U_{95LMR} : nilai ketidakpastian yang dinyatakan oleh LMR

Hasil pengukuran dianggap baik atau memuaskan (A) jika nilai En ≤ ± 1

3. TATA KERJA

3.1. Alat dan bahan

Bahan yang digunakan adalah TLD-ro: LiF:Ti.Mg dalam kapsul polietilen hitam dan Film Kodak tipe-2, sedang peralatan yang digunakan adalah iradiator ¹³⁷Cs (OB-85), detektor kamar ionisasi 600 ml: NE 2575#135, elektrometer Farmer : NE 2570/B #1319, dan *Software TLD-reader* /Tipe: TL-1009 + *Personal computer*.

Sebelum digunakan, TLD di-*annealing* terlebih dahulu. *Annealing* adalah perlakuan *thermal* TLD sebelum dan sesudah penyinaran, untuk menjamin sifat-sifat dosimetri agar tetap seragam. Biasanya tidak semua TLD seragam dalam setiap *batch*-nya. *Batch* adalah sejumlah dosimeter yang terbuat dari suatu masa yang spesifik, dengan komposisi kimia dan ukuran yang seragam, dari lot dan pabrik yang sama.

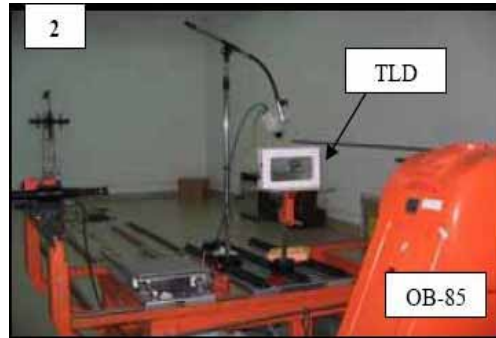
Untuk kegiatan interkomparasi tingkat proteksi ini disediakan TLD kontrol, yang disinari dengan dosis 5 mGy di udara. Oleh sebab itu *output* pesawat OB-85 harus diukur terlebih dahulu sebelum digunakan untuk menyinari TLD.

3.2. Interkomparasi pengukuran *output*

Interkomparasi pengukuran *output* diikuti oleh Lab.1; Lab.2; Lab.4 dan Lab.5. Untuk pengukuran *output*, LMR-PTKMR menggunakan alat standar (detektor kamar ionisasi volume 600 ml NE 2575#135 yang dirangkai dengan elektrometer Farmer NE: 2570#1319 (Gambar 1) yang telah dikalibrasi di IAEA, dengan nomor Sertifikat Kalibrasi IDN/04/01. N_k (¹³⁷Cs) : (50,9 ± 0,5) μGy/nC.



Gambar 1. Alat standar tingkat proteksi yang dimiliki LMR-PTKMR: detektor kamar ionisasi 600 ml :NE 2575#135 yang dirangkai dengan elektrometer Farmer: NE 2570/1B #1319 untuk pengukuran kerma udara



Gambar 2. Iradiator OB-85 dan TLD yang sedang disinari pada jarak 200 cm

Sebelum digunakan untuk pengukuran K_u , alat standar tersebut diperiksa kestabilannya menggunakan sumber $^{90}\text{Sr}/\text{Y}$ 0941BA. Setelah memenuhi persyaratan, detektor diletakkan di meja kalibrasi pada jarak 200 cm dari sumber OB-85. Sumber OB-85 dioperasikan selama 5 menit untuk pemanasan detektor. Pengambilan data dilakukan setelah memasukkan faktor koreksi tekanan, temperatur dan lama penyiran 60 detik pada dosimeter Farmer dan dilakukan dengan 10 ulangan. Selanjutnya nilai K_u diperoleh menggunakan persamaan 2.

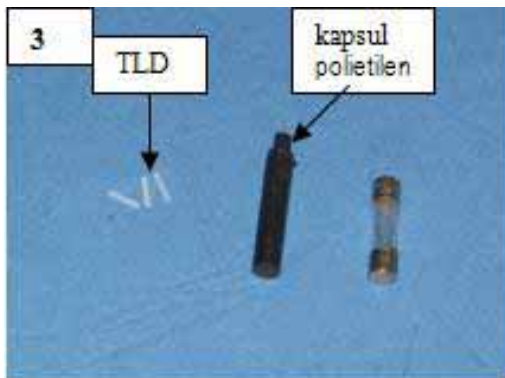
Pengukuran output iradiator dilakukan dengan cara meletakkan TLD pada jarak 200 cm dengan bantuan *adhesive tape* pada suatu *frame* yang terbuat dari polistiren (Gambar 2). TLD kemudian disinari selama waktu tertentu sehingga dosis yang diberikan adalah 5 mGy (sebagai TLD kontrol). Lama waktu penyinaran dihitung dengan persamaan 3.

Masing-masing peserta mendapat 1 TLD kontrol (tidak disinari) dan 3 paket TLD

(Gambar 3) yang harus disinari dengan dosis 5 mGy pada rentang waktu yang telah ditentukan, menggunakan persamaan 2 dan 3. TLD kemudian dikembalikan ke PTKMR pada rentang waktu yang telah ditentukan untuk dievaluasi dengan TLD-reader (Gambar 4).

3.3. Interkomparasi *personal dose equivalent*, $H_p(10)$

Interkomparasi *personal dose equivalent*, $H_p(10)$ diikuti oleh 6 peserta. Peserta Lab.1; Lab.2; Lab.3 dan Lab.5 mengikuti interkomparasi evaluasi dosis menggunakan film saja sedang Lab.4 dan Lab.6. menggunakan TLD dan film. Setiap peserta mendapatkan TLD atau film kontrol dan TLD atau film yang telah disinari dengan 3 variasi dosis. Film dan TLD tersebut dibaca dan dievaluasi oleh peserta pada rentang waktu yang telah ditentukan, kemudian hasil evaluasi peserta dikirimkan ke PTKMR untuk dianalisis nilai *personal dose equivalent*, $H_p(10)$, yang dinyatakan peserta, menggunakan ISO GUIDE 43-1, 1997 (persamaan 10).



Gambar 3. TLD yang digunakan untuk interkomparasi pengukuran *output* dan evaluasi *Personal dose equivalent, $H_p(10)$* .



Gambar 4. Sistem TLD-reader yang digunakan untuk membaca TLD (8)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data interkomparasi pengukuran *output* iradiator ^{137}Cs tahun 2006, 2007 dan

2008 serta evaluasi oleh PTKMR disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil interkomparasi pengukuran *output* (K_u) iradiator ^{137}Cs tahun 2006-2008 (K_u hasil evaluasi LMR dibandingkan dengan K_u yang dinyatakan peserta)

| No | PESERTA | K_u -LMR (mGy) | K_u -LMR (mGy) | K_u -LMR (mGy) | K_u |
|----|---------------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
| | INTERKOMPARASI | 2006 | 2007 | 2008 | LAB. |
| 1 | LAB.1 | 5,00 | 4,98 | 4,85 | 5,00 |
| | | 4,21 | 4,72 | 4,85 | 5,00 |
| | | 5,00 | 4,46 | 4,85 | 5,00 |
| | Rerata = | 4,74 | 4,72 | 4,85 | 5,00 |
| | $K_u(\text{LMR})/K_u(\text{LAB.1}) =$ | 0,95 | 0,94 | 0,97 | |
| 2 | LAB.2 | 5,79 | 5,15 | 4,58 | 5,00 |
| | | 5,00 | 5,35 | 4,85 | 5,00 |
| | | 4,21 | 5,35 | 4,58 | 5,00 |
| | Rerata = | 5,00 | 5,28 | 4,67 | 5,00 |
| | $K_u(\text{LMR})/K_u(\text{LAB.2}) =$ | 1,00 | 1,06 | 0,93 | |
| 3 | LAB.4 | 5,00 | 5,00 | 5,8 | 5,00 |
| | | 5,00 | 4,72 | 4,88 | 5,00 |
| | | 4,21 | 4,72 | 4,88 | 5,00 |
| | Rerata = | 4,74 | 4,81 | 5,19 | 5,00 |
| | $K_u(\text{LMR})/K_u(\text{LAB.4}) =$ | 0,95 | 0,96 | 1,04 | |
| 4 | LAB.5 | | 4,98 | 4,83 | 5,00 |
| | | | 5,77 | 4,58 | 5,00 |
| | | | 5,25 | | 5,00 |
| | Rerata = | | 5,33 | 4,71 | 5,00 |
| | $K_u(\text{LMR})/K_u(\text{LAB.5}) =$ | | 1,07 | 0,94 | |

Pada tahun 2006, hanya Lab.1; Lab.2 dan Lab.4 yang ikut interkomparasi pengukuran *output* (K_u) menggunakan TLD. TLD yang disinari oleh peserta dengan dosis 5 mGy, setelah dievaluasi oleh LMR-PTKMR hasilnya berkisar antara (4,210–5,790) mGy untuk tahun 2006, (4,461-5,351) mGy untuk tahun 2007 dan (4,580-5,800) mGy untuk tahun 2008. Untuk tahun 2006, perbandingan K_u (LMR) dan K_u (Lab): (0,94-1,00), untuk tahun 2007 : (0,94-1,07) dan untuk tahun 2008 : (0,93-1,04).

Pada interkomparasi pengukuran *output* tingkat proteksi ini, LMR-PTKMR memberikan batasan ketidakpastian pengukuran *output*, K_u menggunakan TLD adalah $\pm 10\%$, seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Estimasi ketidakpastian K_u menggunakan TLD oleh LMR PTKMR

| No | Sumber Ketidakpastian | u (%) |
|----|--------------------------------------|-------|
| 1 | Kedapat -ulangan bacaan TLD (tipe A) | 8,5 |
| 2 | Kalibrasi kerma udara, K_u TLD | 2,1 |
| 3 | Resolusi alat baca TLD | 4,0 |
| 4 | Timer Pesawat | 0,5 |
| 5 | Linearitas TLD | 0,5 |
| 6 | Variasi jarak | 0,1 |
| | $\sum u_i^2 =$ | 93,17 |
| | Ketidakpastian gabungan, $u_c =$ | 9,8 |

Dari tahun 2006 sampai dengan 2008, perbandingan K_u (LMR) dan K_u (Lab) berada di bawah rentang 10%, sehingga hasil pengukuran ini cukup baik, meskipun kecenderungannya kadang turun atau naik (tidak beraturan) namun masih di bawah batas toleransi yang diizinkan (10%). Hal ini menunjukkan bahwa kinerja alat dan personil cukup baik. Semua peserta interkomparasi telah mampu mengukur *output* iradiator ^{137}Cs dan kompetensi dari

pelaksana penyinaran cukup baik. Dari sini dapat ditarik kesimpulan bahwa peserta mampu memberikan layanan pengukuran *output* ^{137}Cs dengan ketidakpastian $\pm 10\%$.

Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, $H_p(10)$, tahun 2006, 2007 dan 2008 masing-masing disajikan pada Lampiran 1-6. Pada tahun 2006, dosis yang diberikan LMR-PTKMR adalah (2,00 \pm 1,06) mSv; (5,00 \pm 1,60) mSv; dan (10,00 \pm 2,10) mSv. Hasil evaluasi TLD dan film dari Lab.1. sampai Lab.6 dapat dilihat pada Lampiran 1.

Untuk dosis (2,00 \pm 1,06) mSv, hasil evaluasi Lab. 1 adalah sebesar (1,85 \pm 0,16) mSv dan menunjukkan nilai dosis terendah, sedang nilai dosis tertinggi untuk $k = 2$ diperoleh Lab. 4 dengan hasil (2,57 \pm 0,14) mSv. Untuk dosis (5,00 \pm 1,60) mSv nilai dosis terendah diperoleh Lab.6 yaitu (4,94 \pm 0,28) mSv, dan nilai dosis tertinggi untuk $k=2$ diperoleh Lab.4 dengan nilai (6,10 \pm 1,90) mSv. Nilai dosis (10,00 \pm 2,10) mSv diperoleh Lab.6 sebesar (9,85 \pm 1,06) mSv dan merupakan nilai dosis terendah, sedang nilai dosis tertinggi untuk $k=2$ diperoleh Lab.4 sebesar (13,67 \pm 0,30) mSv.

Dengan menggunakan analisis ISO Guide 43-1, 1997 (9) diperoleh nilai E_n seperti yang disajikan pada Lampiran 2. Nilai E_n Lab. 4 untuk dosis (10,00 \pm 2,10) mSv adalah >1 . Dengan demikian Lab.4 kurang memuaskan dalam mengevaluasi TLD pada dosis (10,00 \pm 2,10) mSv.

Untuk tahun 2007 (Lampiran 3), dosis yang diberikan LMR-PTKMR adalah (1,10 \pm 0,40) mSv; (4,50 \pm 1,00) mSv; dan (9,00 \pm 2,00) mSv. Dengan cara yang sama seperti tahun 2006, menggunakan analisis

ISO Guide 43-1, 1997 diperoleh nilai E_n seperti yang disajikan pada Lampiran 4. Hasilnya nilai E_n Lab. 6 dan Lab. 4 > 1 , artinya Lab.6 dan Lab.4 kurang memuaskan dalam mengevaluasi TLD untuk dosis ($1,10 \pm 0,40$) mSv.

Untuk tahun 2008, dosis yang diberikan LMR-PTKMR adalah ($3,89 \pm 1,89$) mSv; ($1,50 \pm 0,74$) mSv dan ($8,50 \pm 3,06$) mSv (Lampiran 5). Dengan menggunakan analisis ISO Guide 43-1, 1997 (9) diperoleh nilai E_n seperti yang disajikan pada Lampiran 6. Hasil dari Lab.5 kurang memuaskan dalam mengevaluasi TLD untuk dosis ($3,89 \pm 1,89$) mSv dan ($8,5 \pm 3,06$) mSv.

Secara umum, interkomparasi evaluasi dosis yang dilakukan pada tahun 2006 dan 2007 rata-rata cukup baik, terbukti dari hasil evaluasi berdasarkan analisis ISO/IEC Guide 43-1, (1997) rata-rata Lab. mendapatkan nilai $E_n < 1$, sedang untuk interkomparasi tahun 2008, Lab.5 kurang tepat dalam mengevaluasi dosis karena pada hasil evaluasinya didapatkan beberapa nilai $E_n > 1$. Hal ini ditunjukkan dari perbedaan hasil evaluasi oleh Lab.5 dengan PTKMR cukup besar dan ketidakpastian (u_{Lab}) yang disampaikan oleh Lab.5 terlalu kecil sehingga nilai $E_n > 1$.

Dari hasil evaluasi di atas, dapat disimpulkan bahwa bila dosis yang dinyatakan Lab. memiliki perbedaan dengan LMR (Δ) cukup besar tetapi $u(\text{Lab})$ kecil, maka nilai $E_n > 1$. Disarankan supaya Lab.5 mengevaluasi kembali nilai $u(\text{Lab})$ dan selanjutnya mengulang interkomparasi.

Peran interkomparasi sangat penting, diantaranya sebagai uji profisiensi dalam

pengukuran atau evaluasi dosis, meningkatkan dan menjamin mutu layanan. Di samping itu interkomparasi untuk memenuhi legislasi Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), mendukung implementasi program audit mutu, memberikan kepercayaan dalam kemampuan pengukuran, serta pertukaran pengalaman antara anggota dan afiliasi anggota.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil interkomparasi pengukuran *output* iradiator gamma ^{137}Cs yang dilaksanakan pada tahun 2006, 2007 dan 2008 menunjukkan hasil cukup baik (di bawah batas toleransi yang diberikan LMR-PTKMR, yaitu $\pm 10\%$). Untuk interkomparasi evaluasi *personal dose equivalent*, Hp(10), menggunakan film dan TLD pada tahun 2006 dan 2007 hasil yang diperoleh cukup baik, sedang untuk tahun 2008 ada satu Lab. yang hasilnya kurang memuaskan karena nilai E_n yang diperoleh > 1 . Laboratorium yang hasil interkomparasinya kurang memuaskan disarankan mengulang interkomparasi.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. International Atomic Energy Agency. Safety standards series No RS-G-1.3: assessment of occupational exposure due to external sources of radiation, Vienna:IAEA; 1999.
2. American National Standard Institute. ANSI N13 11: criteria for testing personal dosimetry performance, New York: 2001.

-
3. Peraturan Pemerintah NO 63 Tahun 2000: tentang keselamatan dan kesehatan terhadap pemantauan radiasi pengion
 4. Keputusan Kepala BAPETEN No 02-P/Ka BAPETEN/I-2003: tentang pedoman keselamatan kerja terhadap radiasi.
 5. Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka-BAPETEN/V-1999 : tentang keselamatan kerja terhadap radiasi.
 6. International Atomic Energy Agency , Safety series No 115 : international basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources (BSS), Vienna:IAEA; 2000
 7. International Atomic Energy Agency , Safety report series No16: calibration of radiation protection monitoring instruments, Vienna:IAEA; 2000.
 8. Technical Reports Series no: 457, Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice, IAEA, Vienna, 2007.
 9. PC based thermoluminescence analyser system minim type TL 1009 , System hardware reference manual, nucleonix systems private limited, 2004.
 10. ISO/IEC GUIDE 43-1, Proficiency testing by Interlaboratory comparisons, Switzerland, 1997.
 11. ASTM E 1261: standard guide for selection and calibration of dosimetry systems for radiation processing; 2000.
 12. ASTM E 456: standard terminology relating to quality and statistics; 2002.

Lampiran 1
 Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, Hp(10), tahun 2006
 (TLD dan film dibaca peserta)

| Peserta | Dosis: (2±1,06) mSv | | | | | | Dosis: (5±1,6) mSv | | | | | | Dosis: (10 ± 2.1) mSv | | | | | |
|---------|---------------------|------|------|------|--------|-------|--------------------|------|------|------|--------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev |
| LAB.1 | 1,79 | 1,88 | 1,78 | 1,96 | 1,85 | 0,08 | 5,30 | 5,11 | 5,11 | 5,40 | 5,23 | 0,14 | 12,00 | 12,51 | 11,88 | 12,17 | 12,14 | 0,27 |
| LAB.2 | 2,01 | 2,16 | 2,07 | 2,07 | 2,08 | 0,06 | 5,26 | 5,34 | 5,34 | 5,33 | 5,32 | 0,04 | 10,82 | 11,02 | 11,24 | 11,03 | 11,03 | 0,17 |
| LAB.3 | 2,14 | 2,09 | 2,09 | 2,13 | 2,11 | 0,02 | 5,35 | 5,30 | 5,27 | 5,24 | 5,29 | 0,05 | 10,53 | 10,51 | 10,39 | 10,43 | 10,46 | 0,06 |
| LAB.4 | 2,61 | 2,60 | 2,59 | 2,46 | 2,57 | 0,07 | 5,46 | 6,91 | 6,91 | 5,11 | 6,10 | 0,95 | 13,67 | 13,85 | 13,47 | 13,72 | 13,67 | 0,16 |
| LAB.4 | 2,44 | 2,43 | 2,26 | 2,26 | 2,35 | 0,10 | 5,73 | 5,80 | 5,83 | 5,80 | 5,79 | 0,04 | 12,80 | 13,07 | 12,88 | 12,88 | 12,91 | 0,11 |
| LAB.5 | 2,37 | 2,28 | 2,36 | 2,16 | 2,30 | 0,10 | 5,79 | 5,97 | 5,77 | 5,37 | 5,72 | 0,26 | 11,06 | 11,12 | 10,82 | 10,95 | 10,99 | 0,13 |
| LAB.6 | 2,23 | 2,29 | 2,21 | 2,22 | 2,24 | 0,03 | 5,91 | 5,81 | 5,97 | 5,97 | 5,92 | 0,08 | 12,04 | 12,04 | 11,79 | 12,17 | 12,01 | 0,16 |
| LAB.6 | 1,94 | 1,94 | 1,89 | 1,94 | 1,93 | 0,03 | 4,97 | 4,95 | 4,75 | 5,08 | 4,94 | 0,14 | 9,13 | 10,50 | 10,07 | 9,69 | 9,85 | 0,58 |

Lampiran 2.
 Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, Hp(10) tahun 2006
 Dianalisis berdasarkan ISO Guide 43-1, 1997

| Dosis mSv | LAB.1 | | LAB.2 | | LAB.3 | | LAB.4 | | LAB.4 | | LAB.5 | | LAB.6 | | LAB.6 | |
|-------------------|--------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|--------|----------------|
| | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n |
| 2±1,06 | -0,215 | 0,38 | 0,07 | 0,17 | 0,140 | 0,13 | 0,612 | 0,46 | 0,436 | 0,73 | 0,373 | 0,90 | 0,226 | 0,55 | -0,064 | 0,16 |
| | -0,125 | 0,22 | 0,16 | 0,39 | 0,089 | 0,08 | 0,600 | 0,46 | 0,428 | 0,72 | 0,282 | 0,69 | 0,286 | 0,70 | -0,060 | 0,15 |
| | -0,216 | 0,37 | 0,07 | 0,17 | 0,094 | 0,09 | 0,596 | 0,45 | 0,263 | 0,46 | 0,364 | 0,88 | 0,213 | 0,52 | -0,114 | 0,28 |
| | -0,045 | 0,08 | 0,07 | 0,17 | 0,126 | 0,11 | 0,592 | 0,45 | 0,263 | 0,46 | 0,162 | 0,39 | 0,224 | 0,55 | -0,056 | 0,14 |
| 5±1,6 | 0,300 | 0,19 | 0,26 | 0,25 | 0,346 | 0,17 | 0,462 | 0,22 | 0,727 | 0,51 | 0,788 | 0,76 | 0,912 | 0,89 | -0,027 | 0,02 |
| | 0,106 | 0,07 | 0,34 | 0,33 | 0,301 | 0,15 | 1,906 | 0,76 | 0,804 | 0,56 | 0,972 | 0,94 | 0,808 | 0,79 | 0,047 | 0,03 |
| | 0,114 | 0,08 | 0,34 | 0,33 | 0,267 | 0,13 | 1,913 | 0,76 | 0,829 | 0,57 | 0,768 | 0,74 | 0,971 | 0,95 | -0,925 | 0,71 |
| | 0,397 | 0,26 | 0,33 | 0,32 | 0,238 | 0,12 | 0,111 | 0,06 | 0,804 | 0,56 | 0,366 | 0,36 | 0,973 | 0,95 | 0,079 | 0,06 |
| 10±2,1 | 2,001 | 0,61 | 0,82 | 0,40 | 0,527 | 0,17 | 3,669 | 1,09 | 2,798 | 0,91 | 1,060 | 0,53 | 2,041 | 1,00 | -0,873 | 0,38 |
| | 2,511 | 0,76 | 1,02 | 0,50 | 0,506 | 0,17 | 3,845 | 1,13 | 3,065 | 0,98 | 1,124 | 0,56 | 2,043 | 1,00 | 0,500 | 0,21 |
| | 1,879 | 0,59 | 1,24 | 0,61 | 0,388 | 0,13 | 3,468 | 1,04 | 2,880 | 0,93 | 0,824 | 0,41 | 1,793 | 0,88 | 0,067 | 0,03 |
| | 2,170 | 0,67 | 1,03 | 0,51 | 0,431 | 0,14 | 3,716 | 1,10 | 2,880 | 0,93 | 0,950 | 0,47 | 2,173 | 1,06 | -0,313 | 0,14 |
| Rata ² | | 0,36 | | 0,35 | | 0,13 | | 0,67 | | 0,69 | | 0,64 | | 0,82 | | 0,19 |
| Simpulan | | A | | A | | A | | B | | A | | A | | A | | A |

Lampiran 3.
 Hasil interkomparasi personal dose equivalent, Hp(10) tahun 2007
 (TLD dan film dibaca peserta)

| Peserta | Dosis sinar-X: (1.1 ± 0.4) mSv | | | | | | Dosis:(4.5 ±1) mSv | | | | | | Dosis: (10 ± 2.1) mSv | | | | | |
|---------|--------------------------------|------|------|------|--------|-------|--------------------|------|------|------|--------|-------|------------------------|------|------|------|--------|-------|
| | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev |
| LAB.1 | 1,14 | 1,11 | 0,92 | 0,92 | 1,023 | 0,119 | 3,08 | 3,1 | 3,09 | 3,1 | 3,093 | 0,010 | 7,05 | 6,95 | 7,04 | 7,05 | 7,023 | 0,049 |
| LAB.2 | 1,38 | 1,44 | 1,39 | 1,28 | 1,373 | 0,067 | 4,04 | 3,92 | 4,11 | 4,12 | 4,048 | 0,092 | 8,77 | 9,12 | 9,05 | 9,13 | 9,018 | 0,169 |
| LAB.3 | 1,74 | 1,66 | 1,68 | 1,71 | 1,698 | 0,035 | 4,57 | 4,56 | 4,43 | 4,44 | 4,500 | 0,075 | 8,88 | 8,91 | 8,89 | 8,89 | 8,893 | 0,013 |
| LAB.4 | 1,66 | 1,74 | 1,73 | 1,69 | 1,705 | 0,037 | 4,61 | 4,56 | 4,62 | 4,66 | 4,613 | 0,041 | 9,15 | 9,19 | 9,24 | 9,22 | 9,200 | 0,039 |
| LAB.4 | 0,81 | 0,88 | 0,92 | 0,98 | 0,898 | 0,071 | 4,47 | 4,31 | 4,28 | 4,36 | 4,355 | 0,083 | 8,18 | 7,76 | 8,05 | 7,89 | 7,970 | 0,183 |
| LAB.5 | 0,98 | 0,94 | 1,21 | 0,98 | 1,028 | 0,123 | 4,21 | 4,22 | 4,22 | 4,22 | 4,218 | 0,005 | 7,69 | 7,61 | 7,7 | 7,69 | 7,673 | 0,042 |
| LAB.6 | | 1,63 | 1,35 | 1,47 | 1,483 | 0,140 | 3,87 | 3,88 | 3,7 | 3,85 | 3,825 | 0,084 | 7,37 | 7,41 | 7,25 | 7,35 | 7,345 | 0,068 |
| LAB.6 | 2,16 | 2,24 | 2,12 | 1,90 | 2,105 | 0,145 | 6,1 | 5,42 | | 5,76 | 5,760 | 0,340 | 5,23 | 7,06 | 5,88 | 6,5 | 6,168 | 0,789 |
| LAB.6 | 0,51 | 0,58 | 0,46 | | 0,517 | 0,060 | 4,36 | 4,18 | 4,16 | 4,16 | 4,215 | 0,097 | 7,51 | | 8,48 | 7,48 | 7,823 | 0,569 |
| LAB.6 | 1,96 | 2,04 | 2,05 | 1,89 | 1,985 | 0,075 | 4,52 | 4,58 | 4,52 | 4,56 | 4,545 | 0,030 | 8,67 | 8,63 | 8,72 | 8,83 | 8,713 | 0,087 |

warna kuning : pengukuran terendah
 warna merah : pengukuran tertinggi

Lampiran 4.
 Hasil interkomparasi personal dose equivalent, Hp(10) tahun 2007
 Dianalisis berdasarkan ISO Guide 43-1, 1997

| Dosis mSv | LAB.1 | | LAB.2 | | LAB.3 | | LAB.4 | | LAB.4 | | LAB.5 | | LAB.6 | | LAB.6 | |
|-----------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n | \bar{x} | E_n |
| 1,1 ± 0,4 | 0,03 | 0,05 | 0,28 | 0,46 | 0,64 | 1,05 | 0,56 | 0,92 | -0,29 | 0,43 | -0,12 | 0,20 | | | 1,06 | 1,62 |
| | 0,01 | 0,02 | 0,34 | 0,56 | 0,58 | 0,92 | 0,64 | 1,05 | -0,22 | 0,32 | -0,16 | 0,27 | 0,53 | 0,82 | 1,14 | 1,76 |
| | -0,18 | 0,29 | 0,28 | 0,46 | 0,58 | 0,96 | 0,63 | 1,03 | -0,18 | 0,26 | -0,11 | 0,20 | 0,25 | 0,40 | 1,02 | 1,57 |
| | -0,18 | 0,29 | 0,17 | 0,28 | 0,61 | 1,00 | 0,59 | 0,97 | -0,10 | 0,28 | -0,12 | 0,20 | 0,37 | 0,58 | 0,80 | 1,25 |
| 4,5 ± 1 | -1,42 | 0,76 | -0,46 | 0,26 | 0,07 | 0,04 | 0,11 | 0,06 | -0,03 | 0,01 | -0,29 | 0,17 | -0,63 | 0,36 | 1,60 | 0,85 |
| | -1,40 | 0,75 | -0,58 | 0,33 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,03 | -0,19 | 0,06 | -0,28 | 0,16 | -0,62 | 0,35 | 0,92 | 0,50 |
| | -1,41 | 0,76 | -0,39 | 0,22 | -0,07 | 0,04 | 0,12 | 0,07 | -0,22 | 0,08 | -0,28 | 0,16 | -0,80 | 0,45 | | |
| | -1,0 | 0,75 | -0,38 | 0,22 | -0,06 | 0,03 | 0,16 | 0,09 | 0,14 | 0,05 | -0,28 | 0,16 | -0,65 | 0,37 | 1,26 | 0,67 |
| 9 ± 2 | -1,95 | 0,55 | -0,23 | 0,07 | -0,12 | 0,04 | 0,15 | 0,04 | -0,82 | 0,17 | -1,31 | 0,40 | -1,63 | 0,50 | 3,77 | 1,03 |
| | -2,05 | 0,58 | 0,12 | 0,04 | -0,09 | 0,03 | 0,19 | 0,06 | -1,27 | 0,28 | -1,39 | 0,43 | -1,59 | 0,49 | 1,94 | 0,54 |
| | -1,96 | 0,55 | 0,05 | 0,02 | -0,11 | 0,03 | 0,24 | 0,07 | -0,95 | 0,20 | -1,30 | 0,40 | -1,75 | 0,54 | 3,12 | 0,86 |
| | -1,95 | 0,55 | 0,13 | 0,04 | -0,11 | 0,03 | 0,22 | 0,06 | -1,11 | 0,24 | -1,31 | 0,40 | -1,65 | 0,51 | 2,50 | 0,70 |
| Simpulan | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | A | | B |

Lampiran 5. Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, Hp(10) tahun 2008 (TLD dan film dibaca peserta)

| Peserta | Dosis sinar-X: (3.89 ± 1.56) Sv | | | | | | | Dosis: (1.5 ± 0.74) mSv | | | | | | | Dosis: (8.5 ± 3.06) mSv | | | | | | |
|---------|---------------------------------|------|------|------|--------|-------|------|-------------------------|------|------|--------|-------|-------|-------|-------------------------|-------|--------|-------|--|--|--|
| | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev | I | II | III | IV | Rerata | stdev | | | |
| LAB.1 | 3,17 | 3,36 | 4,79 | 3,08 | 3,600 | 0,802 | 1,45 | 1,45 | 1,45 | 1,44 | 1,448 | 0,005 | 10,13 | 10,24 | 9,74 | 10,92 | 10,258 | 0,491 | | | |
| LAB.2 | 2,76 | 3,55 | 3,23 | 3,90 | 3,359 | 0,483 | 1,60 | 1,56 | 1,45 | 1,47 | 1,520 | 0,072 | 8,37 | 9,02 | 8,76 | 8,53 | 8,670 | 0,283 | | | |
| LAB.3 | 5,97 | 8,31 | 6,13 | 6,21 | 6,655 | 1,108 | 1,57 | 1,57 | 1,62 | 1,61 | 1,593 | 0,026 | 8,21 | 8,11 | 8,35 | 8,24 | 8,228 | 0,099 | | | |
| LAB.4 | 5,51 | 5,37 | 5,37 | 5,24 | 5,373 | 0,110 | 1,28 | 1,30 | 1,28 | 1,30 | 1,290 | 0,012 | 7,48 | 7,46 | 7,37 | 7,55 | 7,465 | 0,074 | | | |
| LAB.4 | 5,74 | 5,79 | 5,52 | 5,63 | 5,670 | 0,120 | 1,32 | 1,37 | 1,37 | 1,36 | 1,355 | 0,024 | 7,89 | 7,91 | 8,04 | 8,10 | 7,985 | 0,101 | | | |
| LAB.5 | 4,99 | 5,40 | 2,47 | 4,59 | 4,363 | 1,304 | 1,34 | 1,35 | 1,15 | 1,42 | 1,315 | 0,116 | 4,93 | 5,61 | 5,52 | 5,33 | 5,348 | 0,302 | | | |
| LAB.6 | 1,93 | 1,80 | 1,81 | 1,81 | 1,838 | 0,062 | 1,04 | 1,02 | 1,04 | 1,03 | 1,033 | 0,010 | 4,12 | 4,31 | 4,22 | 4,23 | 4,220 | 0,078 | | | |
| LAB.6 | 4,92 | 5,36 | 5,22 | 4,80 | 5,075 | 0,259 | 1,25 | 1,26 | 1,26 | 1,24 | 1,253 | 0,010 | 6,60 | 6,61 | 6,60 | 6,56 | 6,593 | 0,022 | | | |
| LAB.6 | 5,39 | 5,38 | 5,39 | 5,44 | 5,400 | 0,027 | 1,68 | 1,70 | 1,71 | 1,65 | 1,685 | 0,026 | 9,91 | 9,72 | 9,83 | 9,68 | 9,785 | 0,105 | | | |
| LAB.6 | 5,52 | 5,28 | 5,23 | 5,37 | 5,350 | 0,127 | 1,47 | 1,47 | 1,46 | 1,33 | 1,433 | 0,068 | 8,45 | 8,48 | 8,39 | 8,16 | 8,370 | 0,145 | | | |
| LAB.6 | 6,46 | 6,21 | 6,42 | 6,73 | 6,455 | 0,214 | 1,58 | 1,57 | 1,53 | 1,53 | 1,553 | 0,026 | 8,90 | 8,79 | 9,05 | 8,97 | 8,928 | 0,110 | | | |

warna kuning : pengukuran terendah
 warna merah : pengukuran tertinggi

Lampiran 6.
 Hasil interkomparasi *personal dose equivalent*, Hp(10) tahun 2008
 Dianalisis berdasarkan ISO Guide 43-1, 1997

| Dosis mSv | LAB.1 | | LAB.2 | | LAB.3 | | LAB.3 | | LAB.4 | | LAB.5 | | LAB.6 | | LAB.6 | |
|-----------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|----------------|
| | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n | □ | E _n |
| 3,89 | -0,72 | 0,42 | -1,13 | 0,72 | 1,62 | 0,79 | 1,85 | 0,88 | 1,10 | 0,57 | -1,96 | 1,25 | 1,03 | 0,63 | 1,50 | 0,95 |
| ± 1,56 | -0,53 | 0,30 | -0,34 | 0,21 | 1,48 | 0,73 | 1,90 | 0,90 | 1,51 | 0,75 | -2,09 | 1,34 | 1,47 | 0,90 | 1,49 | 0,95 |
| | 0,09 | 0,05 | -0,66 | 0,42 | 1,48 | 0,73 | 1,63 | 0,79 | -1,42 | 0,52 | -2,08 | 1,33 | 1,33 | 0,82 | 1,50 | 0,95 |
| | -0,81 | 0,47 | 0,06 | 0,04 | 1,35 | 0,67 | 1,74 | 0,84 | 0,70 | 0,37 | -2,08 | 1,33 | 0,91 | 0,56 | 1,65 | 1,05 |
| 1,5 | -0,05 | 0,06 | 0,10 | 0,18 | -0,22 | 0,24 | -0,18 | 0,20 | -0,16 | 0,20 | -0,46 | 0,62 | -0,25 | 0,34 | 0,18 | 0,24 |
| ± 0,74 | -0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,08 | -0,20 | 0,21 | -0,13 | 0,14 | -0,15 | 0,19 | -0,48 | 0,65 | -0,24 | 0,32 | 0,20 | 0,27 |
| | -0,05 | 0,06 | -0,05 | 0,07 | -0,22 | 0,24 | -0,13 | 0,14 | -0,35 | 0,45 | -0,46 | 0,62 | -0,24 | 0,32 | 0,21 | 0,28 |
| | -0,06 | 0,07 | -0,03 | 0,04 | -0,20 | 0,21 | -0,14 | 0,15 | -0,08 | 0,10 | -0,47 | 0,63 | -0,26 | 0,35 | 0,15 | 0,20 |
| 8,5 | 1,63 | 0,43 | -0,13 | 0,04 | -1,02 | 0,29 | -0,61 | 0,17 | -3,57 | 1,08 | -4,38 | 1,43 | -1,90 | 0,62 | 1,41 | 0,46 |
| ± 3,06 | 1,74 | 0,46 | 0,52 | 0,17 | -1,04 | 0,30 | -0,59 | 0,16 | -2,89 | 0,88 | -4,19 | 1,37 | -1,89 | 0,62 | 1,22 | 0,40 |
| | 1,24 | 0,33 | 0,26 | 0,08 | -1,13 | 0,32 | -0,46 | 0,13 | -2,98 | 0,91 | -4,28 | 1,40 | -1,90 | 0,62 | 1,33 | 0,43 |
| | 1,82 | 0,48 | 0,03 | 0,01 | -0,95 | 0,27 | -0,40 | 0,11 | -3,17 | 0,94 | -4,27 | 1,39 | -1,94 | 0,63 | 1,18 | 0,38 |
| Simpulan | | A | | A | | A | | A | | A | | B | | A | | A |

