

## Kalibrasi TLD Badge di Udara dan Permukaan Fantom Menggunakan Sumber Radiasi Pesawat Sinar-X Konvensional

Rahmawati Dewi<sup>1</sup>, Heru Prasetyo<sup>2\*</sup>, Dian Milvita<sup>1</sup>, Irma Dwi Rahayu<sup>2</sup>, Pardi<sup>2</sup>,  
Yahya Mustofa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Fisika Nuklir, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia

<sup>2</sup>PTKMR BATAN, Jakarta Selatan

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 6 Januari 2020  
Direvisi: 12 Januari 2020  
Diterima: 17 Januari 2020

#### Kata kunci:

Kalibrasi  
*backscatter factor*  
TLD Badge  
fantom  
pesawat sinar-X

#### Keywords:

Calibration  
*backscatter factor*  
TLD Badge  
Phantom  
*X-ray planes*

#### Penulis Korespondensi:

Heru Prasetyo  
Email: [prasetyo@batan.go.id](mailto:prasetyo@batan.go.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan kalibrasi TLD *Badge* di udara dan permukaan fantom menggunakan sumber radiasi pesawat sinar-X konvensional tipe Allenger 100R. Penelitian bertujuan untuk mengetahui kondisi TLD *Badge* dengan menentukan besarnya nilai faktor kalibrasi, mengetahui besarnya faktor hamburan balik (*backscatter factor*) serta mengetahui estimasi dosis radiasi di permukaan fantom. Penelitian menggunakan *solid water phantom* sebagai pengganti tubuh radiografer, TLD *Badge* sebagai detektor yang akan dikalibrasi dan detektor Unfors-X2 sebagai detektor standar. Dosis radiasi yang digunakan pada penelitian (0,5; 1; 3; 5; 7,5) mGy dengan tegangan (50; 60; 70; 80; 90; 100) kV. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa TLD *Badge* berada dalam kondisi baik dan besarnya faktor kalibrasi TLD *Badge* yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan estimasi dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi. Besarnya nilai faktor kalibrasi berdasarkan tegangan referensi 70 kV diperoleh sebesar 0,018 mGy/nC mendekati dengan nilai faktor kalibrasi TLD *Badge* yang telah dilakukan oleh pihak PTKMR BATAN yaitu 0,020 mGy/nC. Nilai *backscatter factor* TLD *Badge* memiliki pola yang sama dengan protokol IAEA TRS No.457. *Backscatter factor* TLD *Badge* yang diperoleh dapat menambah literatur *backscatter factor* di protokol IAEA TRS No.457 untuk luas lapangan radiasi 350 cm x 350 cm .

*TLD Badge has been calibrated in air and phantom surface using radiation source of x-ray conventional type allenger 100R. The study aims to determine of the condition of the TLD Badge by determining the value of the calibration factor, knowing the magnitude of the backscatter factor and knowing the estimated radiation dose on the phantom surface The study uses solid water phantom as a substitute for the body of the radiographer, TLD Badge as a detector to be calibrated and Unfors-X2 detector as a standard detector. The radiation dose used in this study (0.5; 1; 3; 5; 7.5) mGy with voltage (50; 60; 70; 80; 90; 100) kV. Calibration results show that the TLD Badge is in good condition and the magnitude of the TLD Badge calibration factor obtained could be used to determine the estimated radiation dose received by the radiation worker. The value of the calibration factor based on the 70kV reference voltage obtained by 0.018 mGy /nC is close to the TLD Badge calibration factor value that has been carried out by PTKMR BATAN which is 0.020 mGy /nC. Backscatter factor value TLD Badge has the same pattern as the IAEA TRS protocol No.457. The TLD Badge backscatter factor obtained can add to the backscatter factor literature in the IAEA TRS protocol No.457 for the 350 cm x 350 cm radiation field area.*

Copyright © 2020 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

Sinar-X merupakan jenis radiasi pengion yang banyak dimanfaatkan diantaranya dalam bidang kesehatan dan teknologi industri. Sinar-X mampu melihat kondisi tulang maupun organ dalam tubuh tanpa melakukan pembedahan. Selain itu sinar-X memiliki dampak negatif bagi pekerja radiasi, yaitu dapat menyebabkan kanker jika dosis radiasi yang diterima melebihi nilai dosis ambang. Pekerja radiasi harus memenuhi persyaratan keselamatan radiasi agar dosis yang diterimanya dapat dikontrol dan tidak melebihi nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebesar 20 mSv per tahun rata-rata selama lima tahun berturut-turut dan 50 mSv dalam satu tahun tertentu (BAPETEN, 2013).

Dosis eksternal perorangan yang diterima oleh pekerja radiasi dapat dipantau menggunakan dosimeter personal. Dosimeter personal yang sering digunakan adalah dosimeter TLD Badge produk Harshaw (Olko dkk, 2006). TLD Badge terdiri dari empat elemen. Elemen pertama menangkap energi foton. Elemen kedua menangkap radiasi pada kedalaman 10 mm di bawah kulit (Hp(10)). Elemen ketiga untuk menangkap radiasi pada kedalaman 0,07 mm (Hp(0,07)) dan elemen keempat menangkap dosis radiasi yang diterima oleh lensa mata (Hp(3)) (BAPETEN, 2003). Elemen TLD Badge terdiri dari tiga chip TLD-700 dan satu chip TLD-600. (Akhadi, 2000).

TLD Badge digunakan untuk memantau besarnya dosis radiasi yang diterima oleh jaringan tubuh pekerja radiasi. Sebelum digunakan, TLD Badge harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi dilakukan untuk memastikan kondisi alat yang digunakan baik dan dapat mengukur dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi dengan benar, sehingga tidak melebihi nilai dosis ambang serta dapat meminimalisir terjadinya kerusakan pada jaringan tubuh pekerja radiasi.

Pekerja radiasi yang bekerja di instalasi radiologi akan menerima dosis radiasi yang berasal dari pesawat sinar-X. Sebelum radiasi sinar-X mengenai TLD Badge yang digunakan oleh pekerja radiasi, radiasi akan merambat terlebih dahulu di udara oleh karena itu kalibrasi harus dilakukan di udara dan permukaan fantom. Pada saat radiasi mengenai TLD Badge atau suatu medium, maka akan terjadi hamburan balik. Hamburan balik yang terjadi disebut sebagai backscatter factor.

Milvita, dkk (2014) membandingkan dosis radiasi di permukaan kulit pada pasien Thorax terhadap dosis radiasi di udara dengan sumber radiasi pesawat sinar-X diperoleh hasil hubungan tegangan dengan dosis linier. Dari perbandingan dosis radiasi di udara dan permukaan kulit pada Thorax didapatkan nilai *backscatter factor* yang bervariasi namun masih mendekati nilai backscatter pada protokol International Atomic Energy Agency (IAEA) *Technical Reports Series (TRS) No.457*.

Winata (2011) menentukan hamburan balik (backscatter) sinar-X diagnostik dalam rentang kualitas berkas RQR 5 hingga RQR 10 pada fantom iso water slab fantom. RQR (*Radiation Qualities in Radiodiagnostic*) adalah rentang kualitas radiasi pesawat sinar-X yang diaplikasikan pada pasien yang menggunakan pesawat radiografi konvensional, fluoroskopi, dan dental. RQR berada pada rentang RQR 2 (20 kV) sampai RQR 10 (100 kV) (IAEA, 2007). Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin meningkatnya tegangan RQR yang diberikan maka backscatter factor yang diperoleh juga meningkat.

Kamwang (2016) melihat pengaruh hamburan radiasi di udara dan permukaan fantom terhadap kalibrasi dosimeter personal. Pengukuran dilakukan di udara, fantom *Phymom Polimetil Metakrilat* (PMMA) dan fantom International Organization for Standardization (ISO) water menggunakan sumber radiasi sinar-X, didapatkan nilai hamburan radiasi terendah terjadi di udara dan hamburan tertinggi pada fantom PMMA berdasarkan kepadatan masing-masing medium objek yang digunakan. Semakin padat medium objek yang digunakan, maka radiasi hambur yang terjadi juga akan semakin besar.

Pada penelitian ini dilakukan kalibrasi TLD Badge di udara dan permukaan fantom. Kalibrasi dilakukan untuk membandingkan nilai referensi yang terbaca pada detektor Unfors X2 sama dengan nilai yang terbaca pada alat yang dikalibrasi dan mengetahui tentang kondisi TLD Badge layak digunakan. Kondisi Nilai referensi yang terbaca pada detektor Unfors X2 akan menjadi besarnya dosis radiasi di udara yang disebut kerma udara.

## II. METODE

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan merupakan fasilitas dari PTKMR BATAN yang terdiri dari pesawat sinar-X konvensional sebagai sumber radiasi, detektor Unfors X2 mengukur dosis radiasi referensi, fantom sebagai objek penelitian, TLD *Badge* sebagai detektor penerima dosis radiasi pekerja radiasi, TLD *Reader* membaca dosis radiasi yang diterima TLD, dan *Styrofoam* sebagai medium meletakkan TLD *Badge* dan detektor Unfors X2 pada saat kalibrasi di udara.

### 2.2 Teknik Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan kalibrasi TLD *Badge* di udara dan permukaan fantom. Sebelum dilakukan kalibrasi di udara, terlebih dahulu menentukan besarnya dosis radiasi (*kerma*) menggunakan detektor Unfors-X2. Kalibrasi TLD *Badge* di udara dilakukan dengan tujuan memperoleh faktor kalibrasi serta melihat pengaruh variasi dosis radiasi terhadap respon TLD *Badge*. Faktor kalibrasi TLD *Badge* di udara ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$Fk_{Udara} = \frac{D_{Unfors-X2}}{TL_{rata-rata}} \quad (1)$$

$Fk_{Udara}$  adalah besarnya faktor kalibrasi TLD di udara,  $D_{Unfors-X2}$  adalah dosis radiasi yang terbaca detektor Unfors X2, dan  $TL_{rata-rata}$  merupakan respon rata-rata bacaan TLD di udara.

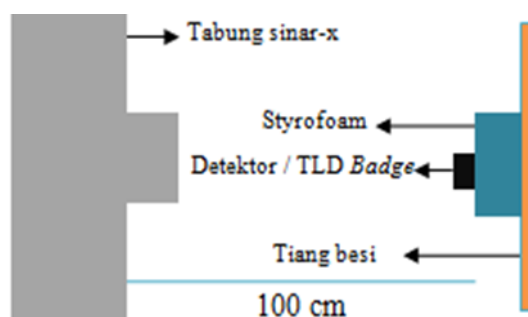
Pada kalibrasi TLD *Badge* di permukaan fantom akan diperoleh besarnya faktor hamburan balik (*backscatter factor*), faktor kalibrasi TLD *Badge* serta besarnya estimasi dosis radiasi di permukaan fantom. Estimasi dosis radiasi di permukaan fantom ditunjukkan pada Persamaan (2).

$$ESD_f = D_{detektor} \times BS_f \quad (2)$$

$ESD_f$  merupakan estimasi dosis radiasi di permukaan fantom,  $D_{detektor}$  merupakan dosis radiasi di udara, dan  $BS_f$  merupakan hamburan balik di permukaan fantom.

#### 2.2.1 Kalibrasi TLD *Badge* di Udara

Skema pengukuran *kerma* udara (dosis radiasi di udara) dan kalibrasi TLD *Badge* di udara dapat dilihat pada Gambar 1, dimana detektor dan TLD *Badge* diletakkan pada jarak 100 cm dari sumber radiasi. Besarnya arus 50 mA dan luas permukaan radiasi 35 cm x 35 cm konstan untuk setiap pengukuran.



**Gambar 1** Skema pengukuran *kerma* udara dan kalibrasi TLD *Badge* di udara

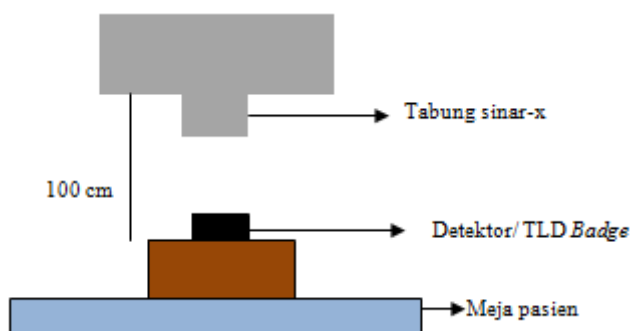
Untuk mengetahui respon TLD *Badge* maka akan dilakukan variasi dosis radiasi untuk setiap tegangan. Besarnya tegangan yang digunakan yaitu (50; 60; 70; 80; 90; 100) kV dengan variasi dosis (0,5; 1; 3; 5; 7,5) mGy untuk setiap tegangan yang digunakan. Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan waktu penyinaran TLD. Waktu penyinaran TLD ditentukan setiap akan dilakukan penyinaran TLD di udara maupun permukaan solid water phantom.

Pengukuran pertama, TLD dan detektor Unfors-X2 diletakkan secara paralel seperti Gambar 1. Penyinaran dilakukan secara bergantian, pertama menggunakan detektor Unfors-X2 setelah itu dengan TLD *Badge*. Waktu penyinaran diperoleh dengan cara penyetalan pada panel operator sinar-X bagian waktu, sehingga besarnya dosis radiasi yang diterima akan terbaca oleh detektor Unfors-X2. Besarnya dosis radiasi yang terbaca oleh Unfors-X2 merupakan besarnya dosis radiasi di udara (*kerma*

udara). Jika hasil pengukuran dengan detektor Unfors-X2 mendekati atau sesuai dengan dosis yang diinginkan untuk setiap tegangan, barulah dilakukan penyinaran TLD *Badge* dengan waktu sama pada pengukuran menggunakan detektor Unfors-X2. Hasil penyinaran TLD *Badge* dibaca menggunakan TLD reader sehingga diperoleh respon TLD di udara dalam satuan nanoCoulomb (nC).

### 2.2.2 Kalibrasi TLD *Badge* di Permukaan Fantom

Kalibrasi TLD di permukaan fantom dapat dilihat pada Gambar 2. TLD *Badge* yang digunakan masih sama dengan TLD *Badge* yang digunakan untuk penyinaran di udara. Metode yang digunakan sama dengan metode kalibrasi TLD di udara, yang membedakan hanya medium tempat meletakkan TLD. Luas permukaan fantom yang digunakan 30 cm x 30 cm dengan ketebalan 20 cm. Hasil penyinaran TLD *Badge* dibaca menggunakan TLD reader sehingga diperoleh respon TLD di udara dalam satuan nanoCoulomb (nC).

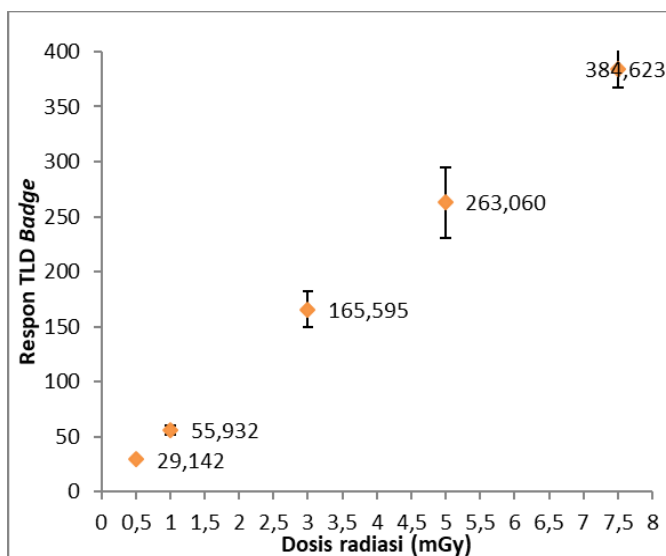


Gambar 2 Langkah-langkah kalibrasi TLD di permukaan fantom

## III. HASIL DAN DISKUSI

### 3.1 Hasil Kalibrasi TLD *Badge* di Udara

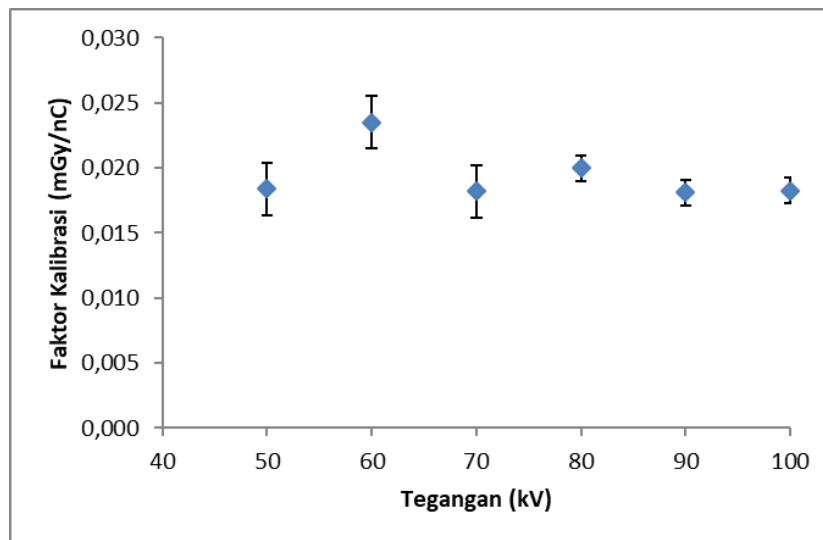
Gambar 3 menunjukkan respon bacaan TLD *Badge* terhadap variasi dosis radiasi untuk tegangan referensi (70 kV). Besarnya respon bacaan TLD *Badge* di udara yang diperoleh mengalami kenaikan jika besarnya dosis radiasi yang diberikan juga semakin naik. Hal ini disebabkan karena besarnya dosis radiasi sebanding dengan besarnya respon bacaan TLD *Badge*. Dengan begitu respon TLD *Badge* terhadap variasi dosis radiasi bersifat linier. Semakin linier grafik yang dihasilkan, maka keseragaman TLD *Badge* semakin baik.



Gambar 3 Respon bacaan TLD *Badge* terhadap variasi dosis radiasi untuk tegangan referensi (70 kV)

Respon bacaan TLD *Badge* juga dipengaruhi oleh besarnya tegangan terhadap faktor kalibrasi. Pengaruh hubungan tegangan terhadap faktor kalibrasi TLD *Badge* di udara dapat dilihat pada Gambar

4. Besarnya faktor kalibrasi pada TLD *Badge* meningkat dari tegangan 50 kV hingga 60 kV akan tetapi pada tegangan 70 kV faktor kalibrasi bernilai rendah dan kembali meningkat pada tegangan 80kV. Hal ini disebabkan karena semakin besar energi probabilitas maka interaksi antar foton akan semakin kecil yang menyebabkan respon TLD *Badge* semakin rendah. Pada tegangan 50 kV hingga 60 kV energi probabilitas semakin besar sehingga besarnya faktor kalibrasi semakin meningkat dan pada tegangan 70 kV energi probabilitas menurun sehingga faktor kalibrasi yang diperoleh juga menurun, akan tetapi pada tegangan 80 kV, 90 kV, 100 kV energi probabilitas kembali mengalami kenaikan. Perbedaan energi probabilitas pada setiap tegangan disebabkan karena adanya spektrum sinar-X.



Gambar 4 Grafik hubungan tegangan terhadap faktor kalibrasi TLD *Badge* di udara

### 3.2 Hasil Kalibrasi Tld *Badge* di Permukaan Fantom

#### 3.2.1 Penentuan *Backscatter Factor* Fantom

*Backscatter* yang diperoleh akan mempengaruhi besarnya dosis radiasi yang diterima oleh TLD *Badge*. Nilai *backscatter factor* fantom ditunjukkan pada Tabel 1. Seperti yang ditunjukkan oleh data pada tegangan 70 kV besarnya dosis yang terbaca pada detektor Unfors-X2 lebih rendah daripada tegangan 50 kV, 60 kV, 80 kV, 90 kV, dan 100 kV. Hal ini disebabkan pada tegangan 70 kV lama waktu yang diperlukan saat penyinaran sangat singkat dikarenakan adanya perbedaan panjang spektrum sinar-X, sehingga dosis yang terbaca pada detektor Unfors-X2 rendah.

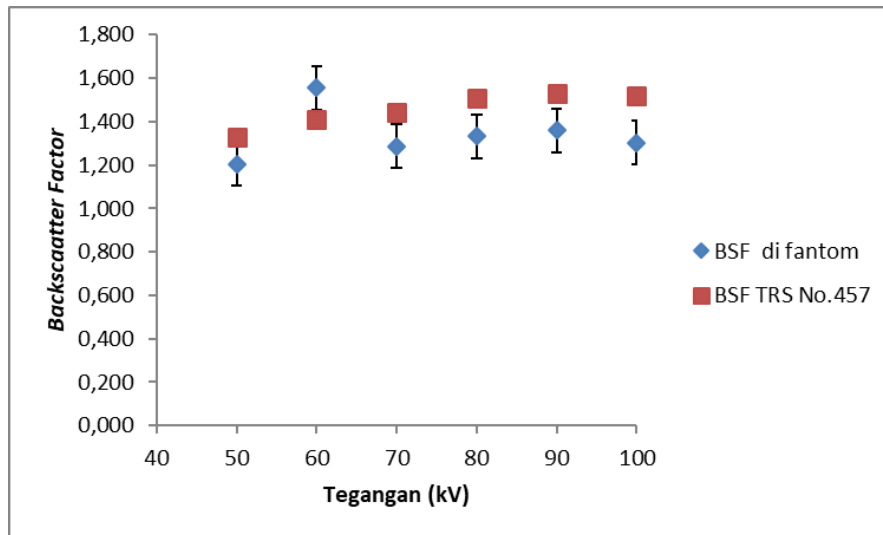
Respon yang terbaca oleh TLD *Badge* di fantom lebih besar dari respon yang terbaca TLD *Badge* di udara. Hal ini disebabkan karena adanya hamburan balik (*backscatter*) yang terjadi pada saat sinar-X mengenai permukaan fantom. Besarnya hamburan yang terjadi akan diterima oleh TLD *Badge*, sehingga besarnya respon TLD *Badge* tersebut bertambah.

Tabel 1 *Backscatter factor* Fantom

No	Tegangan (kV)	$D_U$ (mGy)	$TL_U$ (nC)	$TL_F$ (nC)	$BS_f$	$BS_f$ TRS 457
1	50	4,98	270,965 ± 24,231	326,220 ± 27,880	1,204 ± 0,012	1,33
2	60	5,03	212,625 ± 22,455	330,180 ± 30,273	1,553 ± 0,027	1,41
3	70	4,79	263,060 ± 32,006	338,983 ± 48,874	1,286 ± 0,031	1,44
4	80	5,61	280,825 ± 12,202	374,175 ± 18,614	1,332 ± 0,020	1,51
5	90	5,09	281,335 ± 23,129	382,230 ± 29,073	1,359 ± 0,009	1,53
6	100	5,03	275,625 ± 14,279	359,258 ± 26,806	1,303 ± 0,050	1,52

*Backscatter factor* dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang diberikan pada saat penyinaran. Hubungan tegangan dengan *backscatter factor* dapat dilihat pada Gambar 5. Besarnya *backscatter factor* yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan *backscatter factor* pada protokol IAEA TRS No.457. Selain itu, *backscatter factor* juga memiliki pola yang sama dengan protokol IAEA TRS No.457, namun mengalami penurunan pada tegangan 70 kV. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan

spektrum sinar-X sehingga dosis radiasi yang terukur lebih kecil. Perbedaan spektrum sinar-X akan mempengaruhi besarnya *backscatter factor*. Oleh karena itu, besarnya *backscatter factor* harus ditentukan untuk setiap tegangan yang digunakan. *Backscatter factor* yang diperoleh bisa menjadi literatur untuk *backscatter factor* pada protokol IAEA TRS No.457 untuk luas lapangan radiasi 350 cm x 350 cm.



**Gambar 5** Grafik hubungan tegangan dengan *backscatter factor* TLD Badge

### 3.2.2 Penentuan Faktor Kalibrasi TLD Badge di Fantom

Nilai faktor kalibrasi TLD Badge di permukaan fantom ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa besarnya faktor kalibrasi TLD Badge di permukaan fantom sama dengan faktor kalibrasi TLD Badge di udara. Hal ini disebabkan karena faktor kalibrasi pada permukaan fantom dipengaruhi oleh besarnya dosis radiasi di udara, *backscatter fantom*, dan repon bacaan TLD Badge di permukaan fantom. Besarnya dosis radiasi yang terbaca pada detektor Unfors-X2 di permukaan fantom sama dengan dosis radiasi pada detektor Unfors-X2 di udara. Oleh karena itu kalibrasi cukup dilakukan di udara.

**Tabel 2** Faktor kalibrasi TLD Badge di Fantom

No	Tegangan (kV)	$D_u$ (mGy)	$BS_f$	$TL_f$ (nC)	$F_k$ (mGy/nC)
1	50	4,98	$1,204 \pm 0,012$	$326,220 \pm 27,880$	$0,018 \pm 0,002$
2	60	5,03	$1,553 \pm 0,027$	$330,180 \pm 30,273$	$0,024 \pm 0,002$
3	70	4,79	$1,286 \pm 0,031$	$338,983 \pm 48,874$	$0,018 \pm 0,002$
4	80	5,61	$1,332 \pm 0,020$	$374,175 \pm 18,614$	$0,020 \pm 0,001$
5	90	5,09	$1,359 \pm 0,009$	$382,230 \pm 29,073$	$0,018 \pm 0,001$
6	100	5,03	$1,303 \pm 0,050$	$359,258 \pm 26,806$	$0,018 \pm 0,001$

### 3.2.3 Estimasi Dosis Radiasi pada Permukaan Fantom

Estimasi dosis radiasi di permukaan fantom atau *Entrance Surface Dose Fantom* (ESDf) dapat ditentukan setelah diketahui besarnya *backscatter factor* TLD Badge di permukaan fantom. Estimasi dosis radiasi yang diterima pada permukaan fantom ditunjukkan pada Tabel 3.

Besarnya estimasi dosis radiasi di permukaan fantom (ESDf) yang diperoleh menggunakan tiga metode menghasilkan nilai yang sama untuk setiap tegangan. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya faktor kalibrasi yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan besarnya estimasi dosis radiasi di permukaan fantom. Besarnya dosis radiasi di permukaan fantom dapat ditentukan menggunakan salah satu metode selama besarnya *backscatter factor* fantom diketahui. Sehingga, metode kalibrasi yang dilakukan di udara dan fantom benar.

**Tabel 3** Estimasi dosis radiasi pada permukaan fantom

No	Tegangan tabung (kV)	ESDr(i)	ESDr(ii)	ESDr(iii)
1	50	6,00	6,00	6,00
2	60	7,77	7,77	7,77
3	70	6,16	6,16	6,16
4	80	7,47	7,47	7,47
5	90	6,92	6,92	6,92
6	100	6,48	6,48	6,48

#### IV. KESIMPULAN

Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa TLD *Badge* berada dalam kondisi baik dan besarnya faktor kalibrasi TLD *Badge* dapat digunakan untuk menentukan estimasi dosis radiasi yang diterima pekerja radiasi. Besarnya nilai faktor kalibrasi berdasarkan tegangan referensi 70 kV diperoleh mendekati dengan nilai faktor kalibrasi yang telah dilakukan oleh pihak PTKMR BATAN. Nilai faktor kalibrasi yang diperoleh dari penelitian yaitu  $0,018 \pm 0,002$  mGy/nC sedangkan faktor kalibrasi yang diperoleh oleh pihak PTKMR BATAN sebesar 0,020 mGy/nC. Kalibrasi cukup dilakukan di udara saja. Nilai *backscatter factor* TLD *Badge* memiliki pola yang sama dengan protokol IAEA TRS No.457 pada tegangan 50 kV, 60kV, 80kV dan 90kV. *Backscatter factor* TLD *Badge* dapat digunakan untuk menentukan besarnya estimasi dosis radiasi TLD *Badge* di permukaan fantom serta dapat menambah literatur *backscatter factor* di protokol IAEA TRS No.457 untuk luas lapangan radiasi 350 cm x 350 cm.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Ibu Dian Milvita dan Bapak Heru Prasetio selaku pembimbing, Bapak Yahya, Bapak Pradi, Ibu Dewi, Ibu Irma, Ibu Helfi selaku staff PTKMR BATAN, terima kasih kepada PTKMR BATAN yang telah memfasilitasi semua peralatan yang dibutuhkan selama penelitian, serta kedua orang tua dan semua pihak yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M., *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi* (Rineka Cipta, Jakarta, 2000).
- BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 2 Tahun 2003 tentang Sistem Pelayanan Pemantauan Dosis Eksterna Perorangan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta, (2003).
- BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, (2013).
- Kamwang, N., Rungseesumran, T., Saengchantr, D., Monthonwattana, S., dan Pungkun, V., "Effect of the Scattering Radiation in Air and Two Type of Slab Phantom between PMMA and the ISO Water Phantom for Personal Dosimeters Calibration", *Journal of Physics*, **9(5)**, hal.1-6, (2016).
- Milvita, D., Gemi, N.L., Prasetio, H., Kusumawati D.D., Yuliati H., dan Suyati, "Perbandingan Dosis Radiasi di Permukaan Kulit pada Pasien Thorax terhadap Dosis Radiasi di Udara dengan Sumber Radiasi Pesawat Sinar-X", *Jurnal Spektra*, **15(2)**, hal. 66-70, (2014).
- Olko, P., Currivan L., Van Dijk, J.W., Lopez, M.A., dan Wernli, C., Thermoluminescence Detectors Applied in Individual Monitoring of Radiation Workers in Europe—a Review Based on the EURADOS Questionnaire, *Radiat. Prot. Dosim*, hal. 298–302, (2006).
- Winata, D.O., Koefisien Backscatter Factor Sinar-X Diagnostik Dalam Rentang RQR (Radiation Qualities In Radiodiagnostik) Pada ISO Water Slab Phantom, *Skripsi S1*, Universitas Indonesia, Depok., 2011.