

**PENENTUAN KELUARAN BERKAS ELEKTRON
ENERGI NOMINAL 6 DAN 8 MeV DARI PESAWAT PEMERCEPAT
LINIER MEDIK SYNERGY PLATFORM MODEL S151731 MILIK
RUMAH SAKIT UMUM PUSAT NASIONAL
DR. CIPTO MANGUNKUSUMO**

Assef Firnando Firmansyah, Nurman Rajagukuguk

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Kotak Pos 7043 JKSKL Jakarta 12070 Indonesia

ABSTRAK

PENENTUAN KELUARAN BERKAS ELEKTRON ENERGI NOMINAL 6 DAN 8 MeV DARI PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK SYNERGY PLATFORM S151731 MILIK RUMAH SAKIT UMUM PUSAT NASIONAL DR. CIPTO MANGUNKUSUMO. Makalah ini menguraikan penentuan keluaran berkas elektron dengan energi nominal 6 dan 8 MeV dari pesawat pemercepat linier medik Synergy Platform S151731 milik Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusumo. Pengukuran ionisasi dilakukan di dalam fantom air berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm dengan jarak sumber radiasi ke permukaan air 100 cm, lapangan radiasi di permukaan air 10 cm x 10 cm dan pada kedalaman acuan yang dihitung dari persentase dosis di kedalaman mencapai 50 % dari nilai maksimum, R_{50} . Pengukuran ionisasi dilakukan menggunakan detektor ionisasi keping sejajar Roos volume 0,35 cc tipe W34001/0125 yang dihubungkan dengan elektrometer Farmer NE2570 IB/1182. Perhitungan hasil pengukuran mengacu pada protokol IAEA yang terdapat dalam Technical Report Series No. 398. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa laju dosis serap air untuk berkas elektron energi nominal 6 MeV adalah 200,44 cGy/200 MU, sedangkan untuk energi nominal 8 MeV diperoleh 200,08 cGy/200 MU. Sebagai kesimpulan hasil ini menunjukkan bahwa $1\text{cGy} \approx 1\text{MU}$.

Kata kunci : pesawat pemercepat linier, detektor ionisasi keping sejajar, detektor Roos, Technical Report Series No. 398 dan berkas elektron

ABSTRACT

OUTPUT DETERMINATION OF ELECTRON BEAMS WITH NOMINAL ENERGIES OF 6 AND 8 MeV FROM A SYNERGY PLATFORM LINEAR ACCELERATOR UNIT TYPE OF S151731 OWNED BY DR. CIPTO MANGUNKUSUMO HOSPITAL. This paper describes the output of electron beams with nominal energies of 6 and 8 MeV from the Synergy Platform linear accelerator machine owned by dr. Cipto Mangunkusumo Hospital. Ionization measurement were carried out inside a 30 cm x 30 cm x 30 cm water phantom with the surface to the source distance of 100 cm and the field size at the water surface of 10 cm x 10 cm. The reference depths were calculated from the depth dose distribution in depth water at 50 % of maximum value, R_{50} . The Measurement were done using a 0.35 cc plane parallel ionization chamber type of Roos W34001/0125 connected with a Farmer electrometer type of NE2570 IB/1182. The output of the electron beams were determined with the IAEA protocol in the Technical Report Series No. 398. The result obtained showed that the absorbed dose to water rates were 200.44 cGy/200MU and 200.08 cGy/200MU, each for 6 and 8 MeV. In Conclusion the result showed that $1\text{cGy} \approx 1\text{MU}$.

Key words: linier accelerator unit, plane parallel ionization chamber, Roos chamber, Technical Report Series No. 398 and electron beams.

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan Pasal 13 Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2006, bahwa pengukuran keluaran pesawat pemercepat linier (Linac) medik dilakukan secara berkala sekurang-kurangnya 2 (dua) tahun sekali oleh Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional (LMRN) selaku Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS). [1]

Sesuai dengan ketentuan tersebut, maka pada tanggal 1 Mei 2011 Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional melakukan penentuan keluaran berkas foton dan elektron dari pesawat pemercepat linier medik *Synergy Platform S151731* milik Rumah Sakit Umum Pusat Nasional dr. Cipto Mangunkusumo.

Pesawat pemercepat linier medik merek *Synergy Platform S151731* merupakan produk dari *Precise Treatment* Inggris. Pesawat ini dapat memancarkan berkas foton 6 dan 10 MV dan berkas elektron dengan energi nominal 6, 8, 10, 12, 15, dan 18 MeV.

Tujuan dari makalah ini adalah menguraikan penentuan keluaran berkas elektron dari pesawat pemercepat linier medik *Synergy Platform S151731* dengan energi nominal 6 dan 8 MeV yang dilakukan dengan detektor ionisasi keping sejajar *Roos* [2,3,4]. Diuraikan juga hasil pengukuran sebelum dan sesudah kalibrasi.

2. METODA

2.1. Penentuan Kedalaman Pengukuran Berkas Elektron

Kedalaman pengukuran pada berkas elektron ditentukan dengan persamaan (1).

$$z_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ g/cm}^2 \quad (R_{50} \text{ dalam g/cm}^2) \quad (1)$$

Dengan z_{ref} yang merupakan kedalaman pada saat pengukuran berkas radiasi elektron. Pada nilai $R_{50} < 4 \text{ g/cm}^2$, pengukuran harus dilakukan menggunakan detektor ionisasi keping sejajar, sedangkan untuk $R_{50} > 4 \text{ g/cm}^2$ pengukuran dapat dilakukan dengan detektor silindris [2]. Nilai R_{50} merupakan kedalaman paro pada dosis serap di air untuk energi elektron yang diukur secara relatif dari permukaan air sampai kedalaman tertentu dengan satuan prosentase yang biasanya disajikan dalam tabel (PDD) *Percentage Depth Dose*. Informasi tabel PDD yang digunakan harus sesuai pada saat pengukuran misalnya kondisi aplikator 10 cm x 10 cm dan energi nominal 6 dan 8 MeV.

2. 2. Faktor Koreksi Penentuan Dosis Serap Berkas Elektron

Diperlukan beberapa faktor koreksi untuk menentukan laju dosis serap berkas elektron di dalam air. Faktor tersebut adalah sebagai berikut :

- a. h_{pl} : faktor koreksi laju elektron di dalam bahan plastik yang dibandingkan terhadap laju elektron di dalam air, bila pengukuran dilakukan di fantom air maka nilai h_{pl} adalah 1.
- b. k_{TP} : faktor koreksi temperatur dan tekanan udara terhadap keadaan referensi 20°C dan 101,325 kPa, besarnya koreksi ini dapat ditentukan dengan persamaan (2)

$$k_{TP} = \frac{(273,15+T) P_0}{(273,15+T_0) P} \quad (2)$$

dengan T dan P adalah temperatur dan tekanan udara saat pengukuran berlangsung.

- c. k_{elec} : faktor kalibrasi elektrometer, jika dalam sertifikat tidak dicantumkan faktor tersebut maka nilai k_{elec} adalah 1.
- d. k_{Q,Q_0} : faktor koreksi perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor (Co-60) terhadap kualitas berkas elektron [2].
- e. k_{pol} : faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Nilai k_{pol} dapat dihitung dengan persamaan (3).

$$k_{pol} = \frac{|M_+| + |M_-|}{2M} \quad (3)$$

dengan M_+ adalah bacaan pengukuran pada polaritas positif (+), sedangkan M_- merupakan bacaan pengukuran pada polaritas negatif (-), dimana polaritas itu berada pada kabel *collecting* detektor ionisasi.

- f. k_s : faktor koreksi respon detektor ionisasi terhadap kurang lengkapnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai k_s dapat dihitung dengan persamaan (4)

$$k_s = a_0 + a_1 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \quad (4)$$

dengan a_0 , a_1 dan a_2 adalah nilai konstanta yang diambil dari TRS No. 389 IAEA. Sedangkan M_1 adalah bacaan pengukuran untuk tegangan yang biasa digunakan (V) dan M_2 adalah bacaan pengukuran untuk tegangan referensi misalnya ($\sqrt{4}$).[2]

2. 3. Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Referensi, z_{ref}

Keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV pada kedalaman referensi ditentukan dengan pengukuran ionisasi menggunakan dosimeter. Pengukuran dilakukan di dalam fantom

air berukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm, aplikator 10 cm x 10 cm, (SSD) *Source Surface Distance* 100 cm dan pada kedalaman z_{ref} sesuai pada persamaan (1) [5]. Berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV untuk kedalaman z_{ref} ditentukan dengan persamaan (5). [2]

$$D_{w,Q} = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot k_{Q,Q_0} \quad (5)$$

Dosis serap di dalam air ($D_{w,Q}$) dihitung dari pengukuran muatan (M_Q) yang telah dikoreksi terhadap tekanan dan temperatur, kelembaban, polaritas, rekombinasi, kalibrasi elektrometer, dan bahan fantom. Sedangkan (k_{Q,Q_0}) adalah faktor koreksi perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan sebagai kalibrasi detektor (Co-60) terhadap kualitas berkas elektron [2].

2. 4. Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Maksimum, z_{max}

Dibutuhkan PDD untuk menentukan keluaran berkas elektron pada kedalaman maksimum. Data pengukuran PDD biasanya telah disediakan dari pihak rumah sakit melalui pengukuran oleh fisikawan medisnya. Penentuan dosis serap pada kedalaman maksimum dapat ditentukan dengan persamaan (6).

$$D_{w,Q}(z_{max}) = 100 D_{w,Q}(z_{ref})/PDD(z_{ref}) \quad (6)$$


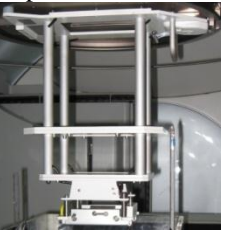



dengan 100 adalah nilai 100 %, $D_{w,Q}(z_{ref})$ adalah dosis serap pada kedalaman z_{ref} , dan $PDD(z_{ref})$ adalah nilai prosentase untuk pengukuran di kedalaman z_{ref} . Penentuan keluaran berkas elektron pada kedalaman maksimum bertujuan untuk mengatur bacaan detektor monitor dalam satuan MU sehingga 1 cGy = 1 MU.[2]






3. PERALATAN DAN TATAKERJA

3. 1. Peralatan

Peralatan dan piranti pendukung yang digunakan dalam penentuan berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Peralatan dan piranti pendukung untuk penentuan berkas elektron energi 6 dan 8 MeV

Peralatan	Spesifikasi
	<ul style="list-style-type: none"> - Pesawat Linac Synergy Platform - No. seri S151731 - Foton, 6 dan 10 MV - Elektron Energy 6, 8, 10, 12, 15, 18 MeV - Precise Treatment (Inggris)
	<ul style="list-style-type: none"> - Aplikator lapangan 10 cm x 10 cm - Buatn Precise Treatment
	Pengoperasian Linac pada : <ul style="list-style-type: none"> - Foton, energi 6 dan 10 MV - Elektron Energy 6, 8, 10, 12, 15, 18 MeV - Buatn Precise Treatment
	<ul style="list-style-type: none"> - Eletrometer Farmer NE 2570 IB - No. seri 1182 - Resolusi 0,005 nC - Range <i>low</i> dan <i>high</i> - Tegangan untuk detektor 241,75 volt - Pengukuran telah terkoreksi oleh temperatur dan tekanan udara - Buatn Nuclear Enterprise
	<ul style="list-style-type: none"> - Detektor ionisasi Roos W34001[4] - No. seri 0125 - <i>Reference point</i> 1,1 mm - Respon 10 nC/Gy - Tegangan 200 – 400 volt - Volume 0,35 cm³ - <i>Waterproof</i> - Buatn PTW Freiburg
Fantom air	

	<ul style="list-style-type: none"> - Fantom air ukuran 30 cm x 30 cm x 30 cm - Digunakan untuk penyinaran vertikal - Bahan dari (PMMA) Polymethyl Methacrylate ($C_5H_8O_2$) densitas $1,19 \text{ g/cm}^3$ dan komposisi massa 8,05% H; 59,99% C; 31,96% O. [5]
<p>Piranti Pendukung</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">  <div style="margin-left: 10px;">A</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">  <div style="margin-left: 10px;">B</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;">  <div style="margin-left: 10px;">C</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;">D</div> </div> </div>	<ul style="list-style-type: none"> A. Hygrometer analog dengan resolusi 1 % B. Barometer analog dengan resolusi 1 mBar C. Sumber pengecek untuk stabilitas detektor ionisasi <i>Roos</i>, jenis radiasi beta dan sumber radioaktif Sr-90 D. Thermometer digital dengan resolusi 0,01 celcius

meletakkan detektor keeping sejajar *Roos* pada *holder* dan dipasang pula sumber pengecek Sr-90 saling berhadapan. Kemudian dilakukan pemanasan untuk dosimeter dengan tanpa dan terhadap radiasi selama 15 menit, lalu pengukuran sebanyak lima data dilakukan dan di catat, hasil pengukuran terkoreksi oleh temperatur, tekanan dan kelembaban udara. Setelah itu data tersebut dibandingkan dengan data acuan yang telah diluruhkan, ketetapan stabilitas dosimeter di LMRN adalah $\leq 1,0 \%$ maka bila kestabilan alat ukur melebihi nilai deviasi terhadap data acuan berarti dinyatakan tidak layak untuk digunakan pengukuran.

3. 2. 2. Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Referensi z_{ref} dan Maksimum z_{max}

Setelah diketahui kedalaman referensi pengukuran untuk berkas elektron maka detektor ionisasi *Roos* diletakkan tepat tegak lurus dengan arah datangnya berkas radiasi, serta memperhatikan *reference point (Roos : 1,1 mm)* detektor untuk ditempatkan pada kedalaman di dalam fantom air. [4]



Gambar 2. Pengukuran muatan pada berkas radiasi elektron energi 6 MeV pesawat Linac

Pengukuran muatan pada berkas radiasi elektron energi nominal 6 dan 8 MeV pesawat pemercepat linier medik *Synergy Platform* No. Seri S151731 dapat dilihat pada Gambar 2. Aplikator dengan ukuran 10 cm x 10 cm dipasang melekat dengan kolimator dan ODI (*Optical Distance Indicator*) diatur sejauh SSD 100 cm [2]. Kemudian pemanasan alat ukur dilakukan tanpa dan dengan radiasi selama 30 menit. Lalu pengukuran muatan terhadap berkas radiasi diambil sebanyak lima data, pada kondisi pesawat penyinaran sebesar 200 MU

3. 2. Tata Kerja

3. 2. 1. Pengecekan Stabilitas Dosimeter Farmer

Stabilitas alat ukur berperan penting dalam melakukan pengukuran untuk menentukan keluaran berkas elektron pesawat pemercepat linier medik, hal ini dikarenakan kondisi dari alat ukur radiasi bisa berubah sewaktu-waktu. Dengan pengecekan stabilitas secara rutin dan dilakukan sebelum pengukuran maka dapat diyakinkan bahwa data pengukuran adalah benar adanya.



Gambar 1. Pengecekan stabilitas alat ukur radiasi Farmer dan detektor ionisasi *Roos*

Pengecekan stabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dilakukan di (LMRN) Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional dengan

atau 200 cGy. Dilakukan pula pengambilan data untuk menentukan koreksi polaritas dan rekombinasi dengan cara merubah tegangan detektor sesuai dengan kebutuhan.

Perhitungan untuk menentukan keluaran berkas elektron dari hasil pengukuran dengan persamaan (5 dan 6) segera mungkin diselesaikan, karena untuk mengetahui apakah hasil pengukuran alat ukur radiasi standar menyimpang jauh atau tidak terhadap bacaan *Monitor Unit*. Bila ada penyimpangan yang signifikan maka akan dilakukan pengaturan (*adjustment*) untuk penyesuaian pada panel control pesawat pemercepat agar didapat nilai yang sama atau mendekati.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengecekan Stabilitas Dosimeter Farmer

Stabilitas dosimeter berfungsi sebagai indikator dimana alat ukur radiasi dapat dinyatakan bekerja dengan baik atau tidak dengan syarat-syarat tertentu (untuk LMRN stabilitas $\leq 1,0\%$) yang harus terpenuhi. Untuk mengetahui kestabilan dosimeter maka diperlukan sumber standar sebagai bahan pengukuran yang akan dibandingkan dari waktu ke waktu sesuai dengan peluruhan pengukuran acuan. Deviasi pengukuran dosimeter Farmer NE2570IB/1182 + Roos TW34001/0125 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengecekan kestabilan dosimeter Farmer NE2570/IB #1182 + Roos W34001/0125

Pengukuran sumber standar Sr-90	
$M_{acuan} : 2,689 \text{ nC}$	$\Delta \text{ deviasi} : 0,33\%$
$M_{bacaan} : 2,698 \text{ nC}$	

Hasil pengecekan stabilitas sistem dosimeter Farmer ketika digunakan menunjukkan deviasi sebesar 0,33 %. Dengan demikian stabilitas dosimeter tersebut pada saat pengukuran cukup baik karena masih lebih kecil dari 1 %.

4.2. Penentuan Kedalaman Pengukuran Berkas Elektron

Kedalaman pengukuran dihitung dengan Pers. 1. yang terlebih dulu diketahui nilai R_{50} dari grafik pengukuran PDD oleh fisikawan medis. Nilai R_{50} dan kedalaman pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Penentuan kedalaman pengukuran untuk berkas elektron energi 6 MeV

Energi	R_{50}	z_{ref}
6 MeV	2,30 cm	1,28 cm
8 MeV	3,23 cm	1,84 cm

Kedalaman pengukuran muatan berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV adalah 1,28 cm dan 1,84 cm, untuk detektor ionisasi Roos yang memiliki nilai *reference poin* sebesar 0,11 cm maka kedalaman detektor berada pada 1,17 cm dan 1,73 cm dibawah permukaan air terhadap aksis detektor.

4.3. Faktor Koreksi Penentuan Dosis Serap Berkas Elektron

Nilai faktor-faktor koreksi beserta PDD di kedalaman tertentu dapat dilihat pada Tabel 4, yang selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menentukan keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV pada pesawat pemercepat linier medik *Synergy Platform* No. seri S151731.[2]

Tabel 4. Faktor koreksi untuk penentuan keluaran berkas elektron energi 6 dan 8 MeV

Faktor Koreksi	Nilai (Energi 6 MeV)	Nilai (Energi 8 MeV)
h_{pl}	1,00	1,00
k_{TP}	1,00	1,00
k_{elec}	1,00	1,00
k_{Q,Q_0}	0,9398	0,9347
k_{pol}	1,0010280	1,0006604
k_s	1,0019929	1,0019196
PDD(z_{ref})	98,840 %	99,460 %
N_{DW,Q_0}	84,0 mGy/nC	84,0 mGy/nC

4.4. Penentuan Keluaran Berkas Elektron Pada Kedalaman Referensi, z_{ref} dan Maksimum, z_{max}

Hasil pengukuran dan penentuan keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV yang dihitung dengan persamaan (5 dan 6) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Penentuan keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV sebelum *adjustment*.

Energi (MeV)	Pengukuran muatan pada Z_{ref} oleh dosimeter (nC)	Penentuan keluaran pada Z_{ref} (cGy)	Penentuan keluaran pada Z_{max} (cGy)	Monitor Unit (MU)	Deviasi keluaran pada Z_{max} terhadap Monitor Unit
6	24,32	192,57	194,83	200	2,59 %
8 MeV	25,35	199,00	200,08 c	200	0,04 %

Pada Tabel 5 ditunjukkan nilai keluaran berkas elektron sebelum dilakukan *adjustment* dan terlihat bahwa deviasi keluaran pada Z_{max} terhadap *Monitor Unit* sebesar 2,59 % untuk energi nominal 6 MeV dan 0,04 % untuk energi 8 MeV. Hal ini terdapat perbedaan yang signifikan pada energi nominal 6 MeV antara *Monitor Unit* dan hasil keluaran oleh dosimeter standar, untuk itu diperlukan *adjustment* sampai mendekati nilai 200 cGy atau deviasi sebesar ≤ 1 %. Sedangkan pada energi nominal 8 MeV tidak diperlukan lagi *adjustment* karena deviasi lebih kecil dari 1 %.

Hasil pengukuran dan penentuan keluaran berkas elektron energi nominal 6 MeV setelah *adjustment* yang dihitung dengan persamaan (5 dan 6) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Penentuan keluaran berkas elektron energi 6 MeV sesudah *adjustment*.

Pengukuran muatan pada Z_{ref} oleh dosimeter (nC)	Penentuan keluaran pada Z_{ref} (cGy)	Penentuan keluaran pada Z_{max} (cGy)	Monitor Unit (MU)	Deviasi keluaran pada Z_{max} terhadap Monitor Unit
25,10	198,11	200,44	200	0,22 %

Pada Tabel 6 ditunjukkan nilai keluaran berkas elektron sesudah dilakukan *adjustment* dan terlihat bahwa deviasi keluaran pada Z_{max} terhadap *Monitor Unit* sebesar 0,22 %. Hal ini telah sesuai dengan harapan karena deviasi antara *Monitor Unit* dan hasil keluaran oleh dosimeter standar adalah sebesar ≤ 1 %.

Dengan demikian berarti penentuan keluaran berkas elektron atau kalibrasi monitor unit telah menunjukkan nilai yang sama dengan nilai 200 MU yang tertera di *panel control software* dalam deviasi ≤ 1 %.

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan penentuan keluaran berkas elektron energi nominal 6 dan 8 MeV pesawat pemercepat linier Linac Synergy Platform No. seri S151731, maka dapat disimpulkan bahwa

- Dosis maksimum energi nominal 6 MeV **sebelum *adjustment*** sebesar 194,83 cGy dan deviasi sebesar 2,59 % terhadap 200 MU
- Dosis maksimum energi nominal 8 MeV **tanpa *adjustment*** sebesar 200,08 cGy dan deviasi sebesar 0,04 % terhadap 200 MU
- Dosis maksimum energi nominal 6 MeV **sesudah *adjustment*** sebesar 200,44 cGy dan deviasi sebesar 0,22 % terhadap 200 MU

Dengan deviasi yang sangat kecil tersebut, maka kesalahan operator dalam menggunakan satuan MU tidak akan menyebabkan kesalahan yang fatal.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan yang diberikan oleh staf unit radioterapi RS dr. Cipto Mangunkusumo yang telah memungkinkan pengambilan data ini.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No. 1 Tahun 2006 tentang kalibrasi alat ukur radiasi dan keluaran sumber radiasi, standardisasi radionuklida dan fasilitas kalibrasi, BAPETEN, Jakarta, 2006
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams, Technical Report Series No. 398, IAEA, Vienna, 2000
3. Sertifikat Kalibrasi Dosimeter Farmer NE2570/IB#1182 + W34001#0125 Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional - Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN, 2011
4. Katalog PTW Freiburg, Ionizing Radiation Detectors, Germany, 2010
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Report Series No. 16, IAEA, Vienna, 2000