



Analisis dan Penentuan Faktor Koreksi Dosis Serap pada Medium *Solid Water Phantom* Terhadap *Water Phantom*

Oyang Dolaresy Rambu Kawurung^{1)*}, Giner Maslebu^{1)**}, Suryasatriya Trihandaru¹⁾,
Muhammad Hidayatullah²⁾

¹⁾ Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga 50711, Jawa Tengah

²⁾ Rumah Sakit Ken Saras, Jl. Soekarno Hatta KM 29, Bergas, Karang Jati, Ungaran, Kab. Semarang

Email : 642013006@student.uksw.edu*, giner.maslebu@staff.uksw.edu**

Submitted 7 Januari 2018 , Accepted 24 Maret 2018

ABSTRAK– Telah dilakukan penelitian tentang analisis penentuan faktor koreksi dosis serap *solid water phantom* terhadap *water phantom* dengan berkas elektron 7, 8 dan 10 MeV, variasi kedalaman tertentu, luas area penyinaran 10×10 cm² dan jarak antara sumber ke permukaan *phantom* 100 cm. Pengukuran dosis serap dilakukan dengan menggunakan pesawat *linear accelerator* (LINAC) Siemens Primus M Class seri 5633, *solid water phantom*, detektor *ionization chamber* jenis *Plan – Parallel Chamber* (PPC) dan *Water Phantom*, detektor *ionization* jenis *farmer chamber* (FC), *Condenser Chamber* (CC) dilengkapi dengan *computer control units* (CCU). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan faktor koreksi sebagai salah satu jaminan kualitas (QA) agar dapat memastikan ketepatan dosis yang diterima oleh pasien. Pengukuran dihitung berdasarkan publikasi protokol *IAEA Technical Report Series* No.398. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor koreksi dosis serap pada *solid water phantom* terhadap *water phantom* untuk energi 7 MeV dari setiap kedalaman tertentu yaitu berkisar 0,5831 sampai 1,0545, sedangkan pada energi 8 MeV berkisar 0,7216 sampai 1,1677, kemudian untuk energi 10 MeV berkisar 0,6704 sampai 1,0401.

KEYWORD : Dosis Serap berkas elektron, faktor koreksi, *Solid Water Phantom*, *Water Phantom*, *IAEA Technical Report Series* 398

DOI: <http://dx.doi.org/10.20527/flux.v15i1.4357>

I. PENDAHULUAN

Radioterapi adalah tindakan medis atau treatment pada pasien menggunakan radiasi pengion dengan memberikan dosis yang terukur terhadap penyakit seperti tumor ganas atau kanker. Penggunaan radiasi pengion untuk terapi kanker merupakan sebuah metode terapi yang efektif dan efisien (Susworo 2007). Beberapa kasus kecelakaan radiasi yang terkait dengan pesawat radioterapi *linier accelerator* telah terjadi di belahan dunia ini termasuk di Indonesia. Kasus kecelakaan tersebut biasanya berawal dari berkas radiasi yang keluar tidak sesuai dengan yang diinginkan saat melakukan penyinaran pada pasien (Pratiwi *et al.* 2010).

Pesawat LINAC sering juga mengalami ketidakstabilan *output* dikarenakan LINAC dibuat dengan rangkaian - rangkaian elektronik yang saling terhubung (Suharni *et al.* 2013).

Penggunaan pesawat *linear accelerator* (LINAC) untuk radioterapi, kestabilan berkas radiasi yang dihasilkan sangat berpengaruh terhadap distribusi dosis yang diterima oleh pasien (Anonim 2002). Oleh karena itu, dianjurkan untuk melakukan cek dosis keluaran berkas radiasi sesuai dengan prosedur *Quality Control* (QC). Penelitian ini bertujuan untuk memastikan ketepatan dosis yang diterima oleh pasien sebagai salah satu fungsi program jaminan kualitas (QA) dalam

radioterapi. Pengukuran dosis pada radioterapi harus dilakukan dengan tepat dan tertelusur (Nazaroh *et al.* 2006). Perhitungan dosis juga harus mengikuti protokol internasional yang dikeluarkan oleh IAEA. Pada tahun 2006 dipublikasikan TRS No 398 yang berjudul *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy* oleh International Atomic Energy Agency, protokol ini merekomendasikan penggunaan detektor ionisasi keping sejajar untuk elektron dan detektor silindris untuk foton energi tinggi dengan pengukuran berkas radiasi dikalibrasi langsung di dalam air atau *water phantom*.

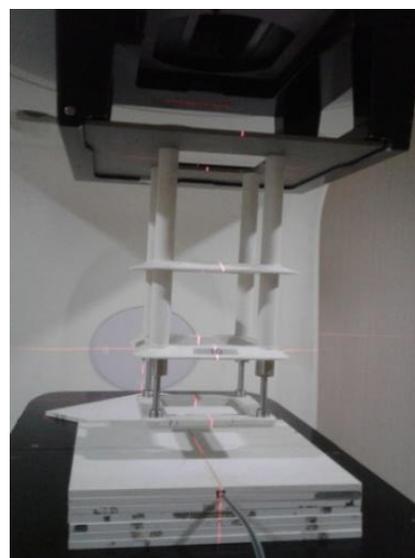
Selama ini, di rumah sakit, untuk kalibrasi dosimetri atau pengukuran dosis serap menggunakan *medium water phantom*. Penggunaan *water phantom* untuk kalibrasi ini memerlukan waktu, persiapan alat yang lama dan kurang efisien. Selain itu, rumah sakit juga memilih *medium solid water phantom* karena penggunaannya membutuhkan waktu singkat. *Solid water phantom* adalah benda padat yang dirancang sebagai bahan pengganti berbasis resin epoksi air, yang disebut air padat. Bahan ini dapat digunakan untuk kalibrasi dosimetri untuk berkas foton dan elektron dalam rentang energi terapi radiasi. *Solid water phantom* telah tersedia secara komersial untuk pengukuran radiasi (Khan 2003). Oleh karena itu, penggunaan *medium water solid phantom* lebih memungkinkan dan lebih efisien. Namun, pada kenyataannya terdapat perbedaan hasil yang terukur ketika menggunakan *medium solid water* dengan *water*. Berdasarkan masalah yang telah diuraikan, penulis melakukan penelitian untuk menentukan faktor koreksi dari *medium solid water phantom* terhadap *water phantom*.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan untuk QC harian dan QC bulanan sama yaitu Pesawat Linier Accelerator (LINAC) Siemens Primus, berkas elektron berenergi 7, 8, 10 MeV, Aplikator 10×10 cm², Kabel koaksial, Common Control

Unit (CCU), elektrometer, barometer dan termometer. Namun bahan dan detektornya berbeda. Pada QC harian digunakan bahan Solid Water Phantom dan detektor ionization Plan - Parallel Chamber (PPC) sedangkan pada QC bulanan digunakan bahan Water Phantom, detektor ionization farmer chamber (FC) dan Condenser Chamber (CC).

Penelitian di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Ken Saras Ungaran kabupaten Semarang. Pada penelitian ini digunakan medium solid water phantom ukuran 30×30 cm² dan water phantom ukuran 60×60 cm², detektor ionisasi jenis keping sejajar, elektrometer, barometer dan aplikator ukuran 10×10 cm². Pengukuran dilakukan pada source to surface distance (SSD) 100 cm dengan luas lapangan 10×10 cm² di permukaan phantom dan menggunakan aplikator ukuran 10×10 cm². Prosedur pengambilan data dosis serap pada penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan dua medium yang berbeda yaitu solid water phantom dan water phantom. Medium solid water phantom digunakan untuk QC harian sedangkan water phantom untuk QC bulanan. Gambar 1 menunjukkan pengukuran dosis serap pada medium *solid water phantom* dan pada medium *water phantom*.



Gambar 1. Pengukuran dosis serap medium *solid water phantom* dan *medium water phantom*

Dalam kalibrasi dosimetri diperlukan beberapa faktor koreksi untuk menentukan laju dosis serap berkas elektron di dalam air. Faktor-faktor tersebut yaitu:

- Faktor koreksi temperatur dan tekanan udara
- Faktor Koreksi Polarisasi (k_{pol})
- Faktor koreksi rekombinasi (k_s)
- Bacaan dosimetri pada tegangan V_1
- Penentuan Dosis Serap Keluaran Berkas Elektron pada Kedalaman Tertentu
- Faktor koreksi *solid water phantom* terhadap *water phantom*

$$k_{TP} = \frac{237.15 + T}{237.15 + T_0} \frac{p_0}{p} \quad (1)$$

k_{TP} menyatakan faktor koreksi tekanan dan temperature, p_0 tekanan udara saat kalibrasi, T_0 untuk suhu udara normal saat kalibrasi dan P adalah tekanan udara pada saat pengukuran dan T adalah suhu pada saat melakukan pengukuran. Referensi yang dicantumkan dalam sertifikat kalibrasi *chamber* (umumnya 101.3 kPa dan 20 °C).

2.1. Faktor Koreksi Polarisasi (k_{pol})

Faktor koreksi polarisasi ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

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

Dengan M_+ adalah bacaan pengukuran pada polaritas positif (+), sedangkan M_- merupakan bacaan pengukuran pada polaritas negatif (-). M adalah bacaan dari polaritas yang rutin digunakan (positif atau negatif).

Faktor koreksi rekombinasi ditentukan dengan pada persamaan berikut :

$$k_s = a_0 + a_1 \frac{(M_1)}{(M_2)} + a_2 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \quad (3)$$

k_s menyatakan faktor koreksi rekombinasi pada tegangan normal dan a_0 , a_1 , a_2 adalah nilai koefisien yang terbentuk pada tegangan normal sedangkan M_1 adalah nilai muatan yang terbentuk pada tegangan

normal dan M_2 adalah nilai muatan yang terbentuk pada kondisi penyinaran.

2.2. Bacaan dosimetri pada tegangan V_1

Bacaan dosimetri adalah hasil kali dari beberapa faktor koreksi yaitu antara lain (M_1 , h_{pl} , k_{TP} , k_{elec} , k_{pol} , k_s) yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$M_Q = M_1 \cdot h_{pl} \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \quad (4)$$

M_Q adalah hasil bacaan dosimetri pada tegangan V_1 atau hasil kali dari beberapa faktor koreksi, V_1 adalah hasil bacaan detektor dari charge, h_{pl} nilai faktor skala *fluence* pada *solid water phantom* ($h_{pl} = 1,008$), k_{elec} faktor kalibrasi elektrometer ($k_{elec} = 1$), k_{pol} hasil pengukuran pada faktor koreksi polarisasi dan k_s koreksi rekombinasi.

2.3. Penentuan Dosis Serap Keluaran Berkas Elektron pada Kedalaman Tertentu

Penentuan dosis serap pada kedalaman tertentu ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

$D_{w,Q}$ adalah nilai dosis serap di dalam air pada kedalaman tertentu, M_Q hasil bacaan dosimeter pada tegangan V_1 , N_{D,w,Q_0} kalibrasi air, dan k_{Q,Q_0} nilai koreksi kualitas berkas

2.4. Faktor koreksi *solid water phantom* terhadap *water phantom*

Faktor koreksi dari *solid water phantom* terhadap *water phantom* dihitung dengan persamaan :

$$FK = \frac{D_{WP}}{D_{SWP}} \quad (6)$$

Dengan D_{WP} adalah nilai dosis serap pada *water phantom* dan D_{SWP} adalah dosis serap pada *solid water phantom*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penentuan Dosis Serap Keluaran Berkas Elektron pada Kedalaman Tertentu

Tahapan awal dilakukan perhitungan untuk penentuan nilai muatan (M_Q) pada medium *solid water phantom* terhadap *water*

phantom dengan kedalaman tertentu yang telah diketahui dari masing – masing energi nominal 7, 8 dan 10 MeV. Pengukuran muatan (M_Q) dilakukan dengan menggunakan tegangan ± 300 dan -100 Volt. Hasil perhitungan dari muatan M_Q diperoleh menggunakan persamaan (4).

M_Q merupakan bacaan dosimetri pada tegangan V_{-1} yang telah di koreksi terhadap pengaruh kuantitas suhu, tekanan, temperatur, kelembaban, polaritas, rekombinasi, kalibrasi elektrometer dan respon detektor *Ionization Chamber*. Faktor koreksi ini, dapat diperoleh dengan menggunakan rumus pada persamaan (1 sampai 3). Selanjutnya nilai M_Q digunakan untuk menentukan dosis serap dari masing – masing energi dan kedalaman. Pengukuran dosis serap pada medium *solid water phantom* terhadap *water phantom* dapat diselesaikan menggunakan persamaan (5). Hasil akhir yang diperoleh dari pengukuran dosis serap ini, berupa dosis dengan satuan Gy atau cGy.

Berikut ini adalah salah satu kondisi hasil pengukuran dosis serap untuk energi 7, 8 dan 10 MeV dari beberapa kedalaman tertentu ditunjukkan pada Tabel 1.

Berdasarkan data pada Tabel 1 hasil pengukuran dosis serap medium *solid water phantom* terhadap *water phantom* pada kedalaman 1,5 cm energi 7 MeV adalah 194,42 cGy. sedangkan kedalaman 1,8 cm energi 8 MeV adalah 196,51 cGy, kemudian untuk kedalaman 2,2 cm energi 10 MeV adalah 199,43 cGy. Terlihat adanya perbedaan hasil dari masing – masing energi dan kedalaman tertentu. Pada kedalaman 1,5 cm untuk energi 7 MeV dosis serap yang terhitung lebih rendah dibandingkan dengan dosis serap pada energi 8 dan 10 MeV. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, dapat dijelaskan bahwa semakin besar energi berkas elektron pada suatu kedalaman tertentu, maka dosis serap akan semakin tinggi. Hal tersebut dipengaruhi oleh energi berkas elektron dan

kedalaman yang bervariasi serta hasil bacaan dektektor dari arus (*charge*) yang berbeda.

Tabel 1. Hasil pengukuran dosis serap medium *solid water phantom* untuk energi 7, 8 dan 10 MeV

Parameter	Energi Elektron (MeV)		
	7	8	10
d (cm)	1,5	1,8	2,2
T ($^{\circ}$ C)	22	22	22
P (kPa)	95,2	95,2	95,2
Humidity(%)	45	45	45
M_1 (nC)	21,35	21,58	21,90
h_{pl}	1,008	1,008	1,008
k_{TP}	1,073	1,073	1,073
k_{pot}	1,001	1,001	1,001
k_s	1,003	1,003	1,003
k_{elec}	1,000	1,000	1,000
N_{D,w,Q_0}	0,08969	0,08969	0,08969
k_{Q,Q_0} (Gy/nC)	0,935	0,935	0,935
M_Q	23,1842549	23,4340150	23,7815074
$D_{w,Q}$ (Gy)	1,9442	1,9651	1,9943

Berdasarkan data pada Tabel 1 hasil pengukuran dosis serap *medium solid water phantom* terhadap *water phantom* pada kedalaman 1,5 cm energi 7 MeV adalah 194,42 cGy. sedangkan kedalaman 1,8 cm energi 8 MeV adalah 196,51 cGy, kemudian untuk kedalaman 2,2 cm energi 10 MeV adalah 199,43 cGy. Terlihat adanya perbedaan hasil dari masing – masing energi dan kedalaman tertentu. Pada kedalaman 1,5 cm untuk energi 7 MeV dosis serap yang terhitung lebih rendah dibandingkan dengan dosis serap pada energi 8 dan 10 MeV. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, dapat dijelaskan bahwa semakin besar energi berkas elektron pada suatu kedalaman tertentu, maka dosis serap akan semakin tinggi. Hal tersebut dipengaruhi oleh energi berkas elektron dan kedalaman yang bervariasi serta hasil bacaan dektektor dari arus (*charge*) yang berbeda.

3.2. Penentuan Faktor Koreksi *Solid Water Phantom* Terhadap *Water Phantom*

Pada penelitian ini, terdapat perbedaan nilai dosis serap antara medium *Solid Water Phantom* dan *Water Phantom*. Oleh karena itu,

perlu ditentukan faktor koreksi dari *solid water phantom* terhadap *water phantom*.

Tahapan awal yang dilakukan dalam mencari faktor koreksi adalah menghitung dosis serap pada kedalaman tertentu dari masing – masing energi. Kemudian hasil tersebut dikalikan dengan faktor koreksi agar nilai dosis serap pada *solid water phantom* sama dengan *water phantom*.

Faktor koreksi diperoleh dari hasil bagi antara dosis serap pada medium *Water Phantom* dengan *Solid Water Phantom*. Penentuan faktor koreksi dilakukan dengan menggunakan rumus pada Persamaan (6). Hasil penentuan faktor koreksi pada medium *solid water phantom* terhadap *water phantom* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penentuan Faktor Koreksi pada Medium *Solid Water Phantom* terhadap *Water Phantom*

Kedalaman (cm)	Dosis Serap (cGy)		Faktor koreksi $\frac{D_{WP}}{D_{SWP}}$
	<i>SOLID WATER PHANTOM</i>	<i>WATER PHANTOM</i>	
7 MeV			
1,0	181,21	191,08	1,0545
1,2	182,12	197,00	1,0817
1,5	192,94	200,32	1,0383
2,2	193,29	158,54	0,8202
2,5	184,22	108,64	0,5897
8 MeV			
1,2	171,93	200,76	1,1677
1,6	185,22	208,56	1,1260
1,8	196,51	209,30	1,0651
2,6	190,14	164,98	0,8677
3,0	160,82	116,04	0,7216
10 MeV			
1,1	189,14	196,72	1,0401
1,5	192,87	203,56	1,0554
2,2	199,43	209,58	1,0509
3,2	188,23	162,68	0,8643
3,7	155,35	104,14	0,6704

Berdasarkan data pada Tabel 2, terlihat selisih faktor koreksi dari masing – masing energi dan kedalaman yang berbeda. Untuk energi 7 MeV pada setiap kedalaman yang

berbeda, faktor koreksi yang terhitung berkisar 0,5741 sampai 1,0545, sedangkan pada energi 8 MeV berkisar 0,7216 sampai 1,1677, kemudian energi 10 MeV berkisar 0,6704 sampai 1,0401. Dari hasil yang terhitung menunjukkan bahwa semakin dalam jangkauan suatu titik tertentu, maka faktor koreksi semakin kecil. Begitu juga sebaliknya, pada jangkauan kedalaman yang dangkal faktor koreksi yang diperoleh lebih besar. Hal tersebut dipengaruhi oleh jangkauan kedalaman yang berbeda dan energi berkas elektron yang bervariasi. Dalam kondisi faktor koreksi seperti ini, pengukuran dosis serap dapat dilaksanakan pada bahan medium *solid water phantom*. Namun demikian, faktor koreksi ini hanya berlaku untuk pesawat LINAC yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk pesawat LINAC yang lain, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh faktor koreksi dosis serap dari medium *solid water phantom* terhadap *water phantom* untuk energi 7 MeV pada setiap kedalaman tertentu yaitu berkisar 0,5741 sampai 1,0545, sedangkan pada energi 8 MeV berkisar 0,7216 sampai 1,1677, kemudian untuk energi 10 MeV berkisar 0,6704 sampai 1,0401. Dengan faktor koreksi ini, kalibrasi dosimetri atau pengukuran dosis serap dapat dilakukan menggunakan bahan *solid water phantom*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim., 2002. *Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi*, Bapeten.
- International Atomic Energy Agency, (2006), *Absorbed Dose Determination In External Beam Radiotherapy; An International Code Of Practice For Dosimetry Based On Standards Of Absorbed Dose To Water*, Technical Report Series No.398, Vienna: IAEA.
- Khan, F.M., 2003. *The Physics Of Radiation Therapy 3rd Edition*.

- Nazaroh, N., Sunaryati, S.I., and Rajagukguk, N., 2006. Penerapan Jaminan Kualitas Untuk Radioterapi, Pusat Teknologi Keselamatan Dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional, *Seminar Keselamatan Nuklir*, 2 – 3 Agustus 2006.
- Pratiwi, P., Raditya, R., and Faradina, F., 2010. Analisis Kualitas Berkas Radiasi Foton 10 MV Pada Pesawat Teleterapi Linear Accelerator. *Skripsi*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Diponegoro, Semarang.
- Suharni, S., Kusminarto, K., and Anggraita, P., 2013. Analisis Hasil Pengukuran Percentage Depth Dose (PDD) Berkas Elektron LINAC Elekta RSUP Dr. Sardjito. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah Teknologi akselerator Dan Aplikasinya*. ISSN 1411-1349.
- Susworo, R., 2007. *Dasar – Dasar Radioterapi, Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*. Jakarta: UI Press.

LAMPIRAN

Tabel 1. Hasil Pengukuran Dosis Serap Energi 7 MeV

Parameter	Kedalaman (cm)				
	1,0	1,2	1,5	2,2	2,5
T (°C)	22	22	22	22	22
P (kPa)	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2
Humidity (%)	45	45	45	45	45
$M_1(\text{charge})$ (nC)	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90
h_{pl}	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008
k_{TP}	1,073	1,073	1,073	1,073	1,073
k_{pol}	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
k_s	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
k_{elec}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
N_{D,w,Q_0} (Gy/nC)	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969
k_{Q,Q_0}	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
M_Q	21,60968026	21,71827162	23,18425495	23,04308618	21,96803174
$D_{w,Q}$ (Gy)	1,8121	1,8212	1,9442	1,9323	1,8422

Tabel 2. Hasil Pengukuran Dosis Serap Energi 8 MeV

Parameter	Kedalaman (cm)				
	1,2	1,6	1,8	2,6	3,0
T (°C)	22	22	22	22	22
P (kPa)	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2
Humidity (%)	45	45	45	45	45
$M_1(\text{charge})$ (nC)	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90
h_{pl}	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008
k_{TP}	1,073	1,073	1,073	1,073	1,073
k_{pol}	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
k_s	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
k_{elec}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
N_{D,w,Q_0} (Gy/nC)	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969
k_{Q,Q_0}	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
M_Q	20,5020484	22,08748223	23,43401507	22,67387557	19,17723384
$D_{w,Q}$ (Gy)	1,7193	1,8522	1,9651	1,9014	1,6082

Tabel 33. Hasil Pengukuran Dosis Serap Energi 10 MeV

Parameter	Kedalaman (cm)				
	1,1	1,5	2,2	3,2	3,7
T (°C)	22	22	22	22	22
P (kPa)	95,2	95,2	95,2	95,2	95,2
Humidity (%)	45	45	45	45	45
$M_1(\text{charge})$ (nC)	19,90	19,90	19,90	19,90	19,90
h_{pl}	1,008	1,008	1,008	1,008	1,008
k_{TP}	1,073	1,073	1,073	1,073	1,073
k_{pol}	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001
k_s	1,003	1,003	1,003	1,003	1,003
k_{elec}	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
N_{D,w,Q_0} (Gy/nC)	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969	0,08969
k_{Q,Q_0}	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935
M_Q	22,55442507	22,99964964	23,78150742	22,44583371	18,52568569
$D_{w,Q}$ (Gy)	1,8914	1,9287	1,9943	1,8823	1,5535