



FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

Modified Electron Beam Output Calibration for Medical Linear Accelerator

SUPRIYANTO ARDJO PAWIRO

DEPARTEMEN FISIKA FMIPA UI

ALIANSI FISIKAWAN MEDIK INDONESIA

Acknowledgement : Contributors and Hospitals

- ❖ Dwi Aprilia Mahfirotin
- ❖ Cica Yulinar
- ❖ Wahyu Edy Wibowo
- ❖ Brian Ferliano
- ❖ Dea Ryangga
- ❖ Muhammad Fadli

- ❖ Andrian Dede Handika
- ❖ Nelly
- ❖ Yosi Sudarsi Asril
- ❖ Eddy Kurniawan
- ❖ Poonam Yadav
- ❖ Supriyanto Pawiro



FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

Acknowledgement : Funding



FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

- ❖ PUTI Universitas Indonesia Research Grant 2020
- ❖ PUTI Universitas Indonesia Research Grant 2022
- ❖ PUTI Universitas Indonesia Research Grant 2023

Outline

- ❖ Pengantar Fisika Medis dan Tugas Fungsi Pelayanan
- ❖ Konsep Modifikasi Kalibrasi Berkas Elektron
- ❖ Perbandingan IAEA TRS 398, AAPM TG 51 dan Modifikasi
- ❖ Studi Kajian Multi Institusi

- **Definisi Fisika Medis menurut IOOMP** (International Organization for Medical Physics)
 - Medical Physics is a **branch of Applied Physics**, pursued by medical physicists, that uses physics principles, methods and techniques in practice and research for the **prevention, diagnosis and treatment** of human diseases with a specific goal of improving human health and well-being.
- **Definisi Fisika Medis menurut AAPM** (American Association for Physicists in Medicine)
 - Medical Physics is primarily **an applied branch of physics** and deals with the application of physical principles to the **diagnosis and treatment** of human disease

- **Definisi IOMP**

- **Medical physicists** are professionals with education and **specialist training** in the concepts and techniques of applying physics in medicine. Medical Physicists work in clinical, academic or research institutions. **Medical physicists working in clinical environment** are health professionals, with education and specialist training in the concepts and techniques of applying physics in medicine, **competent to practice independently in one or more of the subfields** (specialties) of medical physics.

- **Definisi AAPM**
 - A **Qualified Medical Physicist** is an individual who is **competent to practice independently** one or more of the subfields in medical physics.
- **Definisi Indonesia**
 - Mengikuti UU Kesehatan No. 17 tahun 2023
 - Fisikawan Medik masuk dalam **rumpun Teknik Biomedika bersama Elektromedis, Radiografer, Radioterapis, Ahli Teknologi Laboratorium Medik dan Ortotik Prostetik**
 - Konsensus Aliansi Fisikawan Medik Indonesia dan Aliansi Institusi Pendidikan Fisika Medis Indonesia: minimal Profesi **level 7 KKNI**

The International Basic Safety Standards

The BSS has major relevance to the work of **radiation physics to medicine**, especially in developing Member States where it often underpins national legislation in this area.

Patient protection is ensured when the physical and technical aspects of radiation medicine are under the ***supervision of a qualified clinical medical physicist.***



IAEA HUMAN HEALTH SERIES
No. 25

**Roles and Responsibilities,
and Education and Training
Requirements for Clinically
Qualified Medical Physicists**

 **IAEA**
International Atomic Energy Agency

CONTENTS

1. INTRODUCTION	1
2. ROLES AND RESPONSIBILITIES OF CLINICALLY QUALIFIED MEDICAL PHYSICISTS	3
3. ROLES AND RESPONSIBILITIES OF CLINICALLY QUALIFIED MEDICAL PHYSICISTS COMMON TO ALL MEDICAL PHYSICS SPECIALTIES	5
4. ROLES AND RESPONSIBILITIES SPECIFIC TO EACH MEDICAL PHYSICS SPECIALTY	9
4.1. Radiation therapy	9
4.2. Medical imaging	20
4.2.1. Nuclear medicine	21
4.2.2. Diagnostic and interventional radiology	26
4.2.3. Other imaging areas	30
4.3. Occupational and public radiation protection	36
4.3.1. Safety of the staff and the public	36
4.3.2. Safety of radioactive sources	39
5. STAFFING AND ORGANIZATION OF A MEDICAL PHYSICS SERVICE	39
5.1. Staffing requirements	41
6. RECOMMENDATIONS FOR THE ACADEMIC AND CLINICAL TRAINING OF CLINICALLY QUALIFIED MEDICAL PHYSICISTS	44
6.1. Current status	44
6.2. Qualification requirements for academic and clinical training	45
6.3. Accreditation, certification and registration	47
6.4. Continuing professional development programme	48
6.5. Summary of qualification requirements	49
APPENDIX I: CODE OF ETHICS FOR MEDICAL PHYSICISTS WORKING IN THE CLINICAL ENVIRONMENT	51
APPENDIX II: MEDICAL DOSIMETRISTS — DUTIES AND SKILLS	62
REFERENCES	65
LIST OF ABBREVIATIONS AND ACRONYMS	69
CONTRIBUTORS TO DRAFTING AND REVIEW	71

Revised BSS & the Medical Physicist

The MP has a mandated role in:

- **Therapeutic uses of radiation:**
 - The requirements for **calibration, dosimetry and QA**, including the acceptance and commissioning of medical radiological equipment
 - Are fulfilled by or under the supervision of a medical physicist
- **Diagnostic uses & image-guided interventional procedures**
 - The requirements for imaging, **calibration, dosimetry and QA**, including the acceptance and commissioning of medical radiological equipment
 - Are fulfilled by or under the oversight of or with the documented advice of a medical physicist
 - Whose degree of involvement is determined by the complexity of the radiological procedures and the associated radiation risks

Regulasi Pemerintah :

- ❖ Permenpan 12 /2008 tentang Jabatan Fungsional Fisikawan Medik
 - ❖ Jabatan Ahli Pertama, Muda dan Madya
 - ❖ Jabatan Ahli Utama sedang diusulkan ke Permenpan

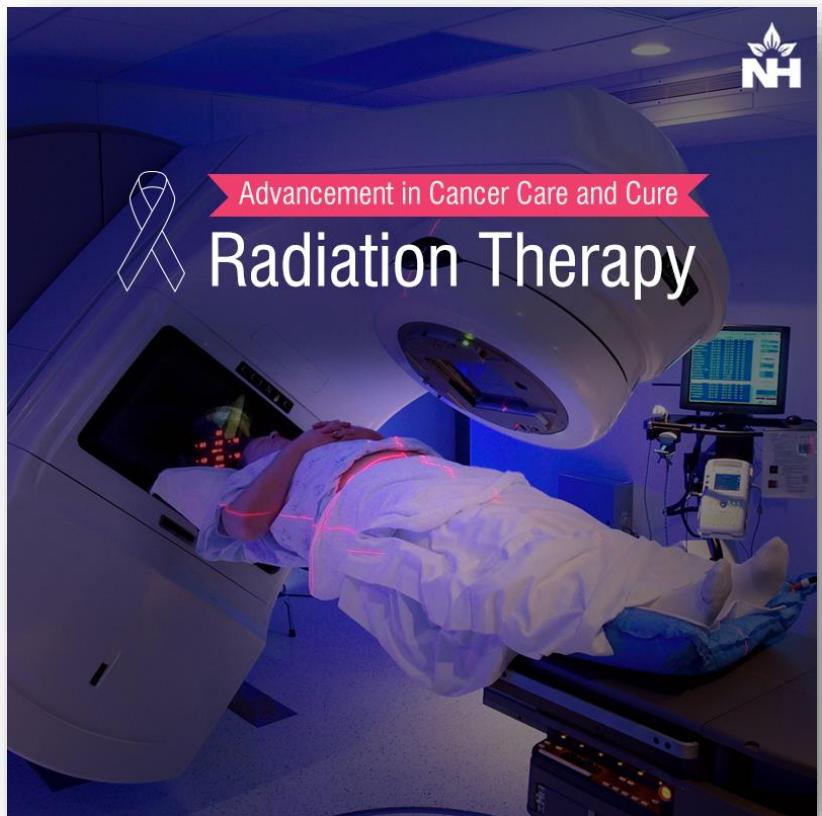
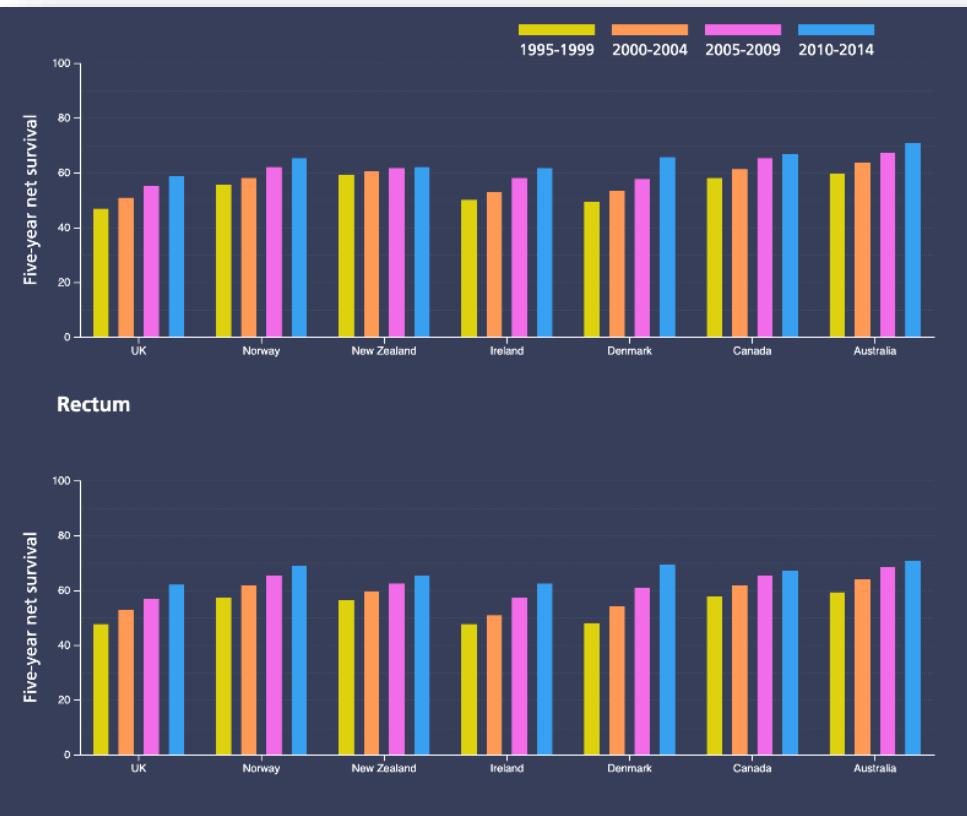
KONSEP MODIFIKASI PROTOKOL KALIBRASI PADA DOSIMETRI BERKAS ELEKTRON

Latar Belakang



Kejadian dan tingkat kematian akibat kanker mengalami peningkatan → perlunya treatment kanker yang efektif

(WHO, 2020)



1

LATAR BELAKANG

•ICRU merekomendasikan **kesalahan dalam pelaksanaan radioterapi** tidak lebih dari $\pm 5\%$.

Radioterapi dilakukan dengan LINAC. Keluaran radiasi perlu **kalibrasi**.

Kalibrasi keluaran berkas electron: **AAPM TG 51 Protocol dan IAEA TRS 398**



Penekanan utama dalam laboratorium standar di seluruh dunia mengalami pergeseran dari kerma udara menjadi dosis serap ke air

(Huq et al, 2001).

IAEA TRS-398 & AAPM TG-51 →

Didasarkan pada penggunaan detektor ionisasi yang terkalibrasi dalam bentuk dosis serap ke air pada berkas Cobalt-60 sebagai dasar pengukuran



UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtute, Prodigio, Virtute

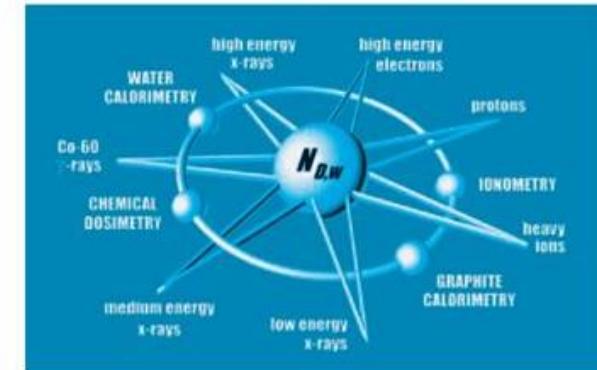
FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

2

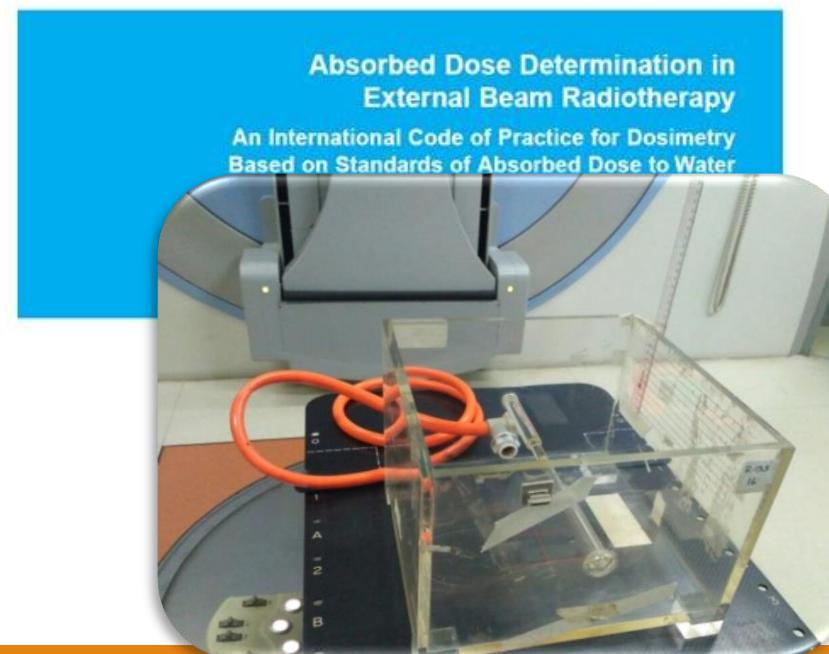
IAEA TRS-398

TRS-398 adalah protokol dosimetri referensi yang digunakan pada berkas elektron dengan rentang energi antara 3 MeV dan 50 MeV.

$$D_{w,Qo}(z_{ref}) = M_{Qo} N_{D,w,Qo} k_{Q,Qo}$$



TECHNICAL REPORTS SERIES No. 398





UNIVERSITAS
INDONESIA

Virtus, Prodigia, Veritas

FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

2

KONDISI REFERENSI TRS 398

TABLE 7.II. REFERENCE CONDITIONS FOR THE DETERMINATION OF ABSORBED DOSE IN ELECTRON BEAMS

Influence quantity	Reference value or reference characteristic
Phantom material	for $R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}$, water. For $R_{50} < 4 \text{ g cm}^{-2}$, water or plastic
Chamber type	for $R_{50} \geq 4 \text{ g cm}^{-2}$, plane-parallel or cylindrical. For $R_{50} < 4 \text{ g cm}^{-2}$, plane parallel
Measurement depth z_{ref}	$0.6 R_{50} - 0.1 \text{ g cm}^{-2}$
Reference point of chamber	for plane-parallel chambers, on the inner surface of the window at its centre. For cylindrical chambers, on the central axis at the centre of the cavity volume
Position of reference point of chamber	for plane-parallel chambers, at z_{ref} . For cylindrical chambers, $0.5 r_{cyl}$ deeper than z_{ref}
SSD	100 cm
Field size at phantom surface	10 cm x 10 cm or that used for normalization of output factors, whichever is larger



UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtute, Prodigio, Scientia

FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

3

AAPM TG-51

$$D_w^Q = M P_{gr}^Q k'_{R_{50}} k_{ecal} N_{D,w}^{Co}$$



$$D_w = M k'_Q k_{Q,ecal} N_{D,w}^{co}$$



Faktor koreksi gradien untuk detektor silinder

$$P_{gr}^Q = \frac{M_{raw} (d_{ref} + 0.5r_{cav})}{M_{raw}(d_{ref})}$$

Muir (2020)

Muncul notasi baru menggunakan subscript Q bukan R_{50} untuk memperjelas bahwa efek gradien secara implisit diperhitungkan dalam simulasi

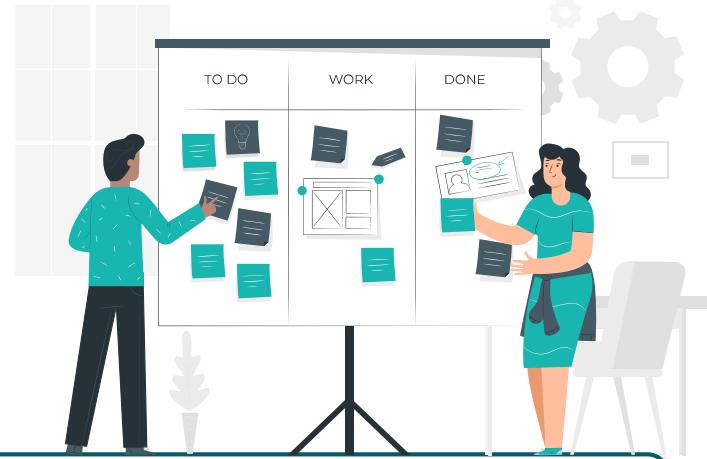


UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtus, Prodigia, Virtus

FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

4

TRS 398 versus TG 51



TRS-398

$N_{D,w,Qo}$ dan $k_{Q,Qo}$

TG-51

$N_{D,w}^{Co}$ dan k_Q , dimana $k_Q = P_{gr}^Q k'_{R_{50}} k'_{ecal}$

Almond, et al (1999)

Protokol dosimetri referensi berkas elektron merekomendasikan penggunaan detektor plan – parallel, terutama pada berkas elektron energi rendah, yaitu kurang dari 10 MeV ($R_{50} \leq 4,3$ cm)

IAEA (2000)

Detektor silinder tidak direkomendasikan sebagai pengukuran di elektron energi rendah karena menghasilkan koreksi peturbasi fluens mencapai 5%

Wittkamper (1991)



UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtus, Prudentia, Veritas

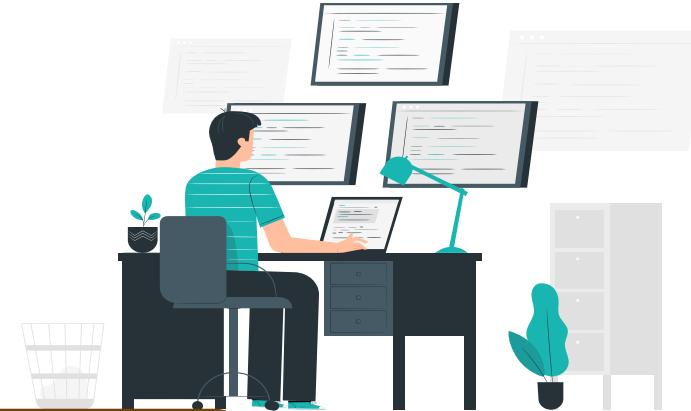
FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

5

Konsep Prosedur Modifikasi

Muir dan Rogers
(2014)

Perhitungan konversi kualitas berkas menggunakan simulasi Monte Carlo → secara implisit telah memasukkan efek gradien (P_{gr}^Q) → k_Q terbaru



Muir dan Mc Ewen
(2017)

Detektor silinder dapat digunakan di semua energi berkas elektron

Muir (2020)

Memodifikasi persamaan dosis di TG-51 dengan perhitungan faktor k_Q terbaru dan direpresentasikan dalam notasi k'_Q , dan $k_{Q,ecal}$. Didapatkan dosis/MU pada berbagai detektor berada pada orde 0,4%



UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtus, Prudentia, Veritas

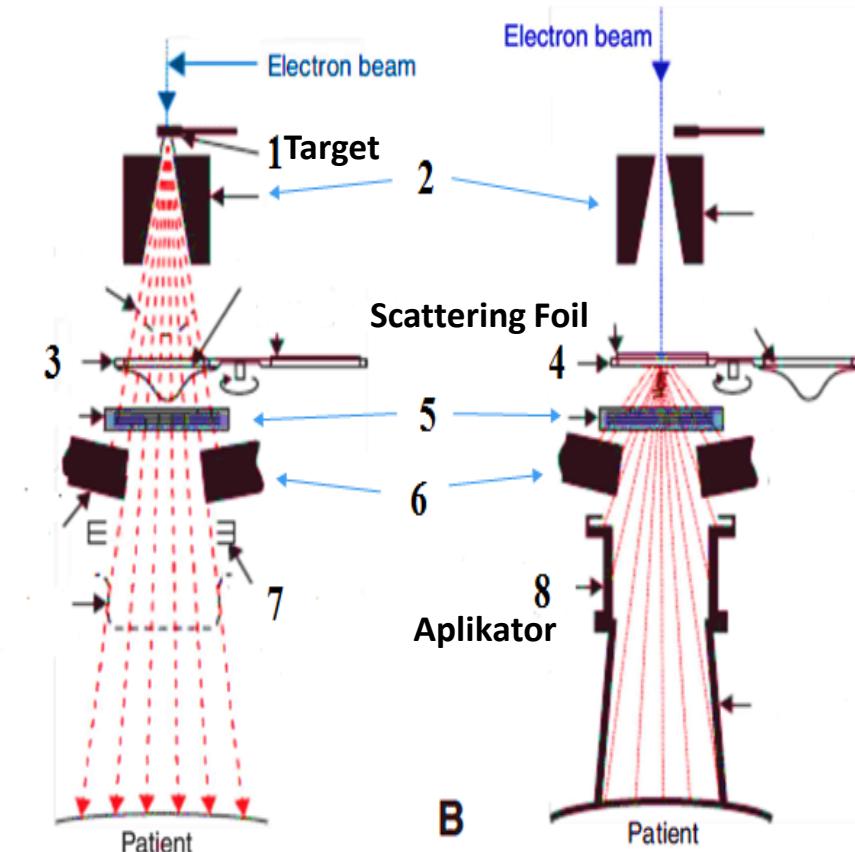
FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

6

KARAKTERISTIK LINEAR ACCELERATOR

Elektron dipercepat dengan gelombang elektromagnetik mengikuti lintasan lurus yang berada di dalam *accelerating waveguide*.

(Podgorsak, 2005)



Komponen Linac : A (Mode foton), B (Mode elektron)



UNIVERSITAS
INDONESIA
Virtus, Prudentia, Veritas

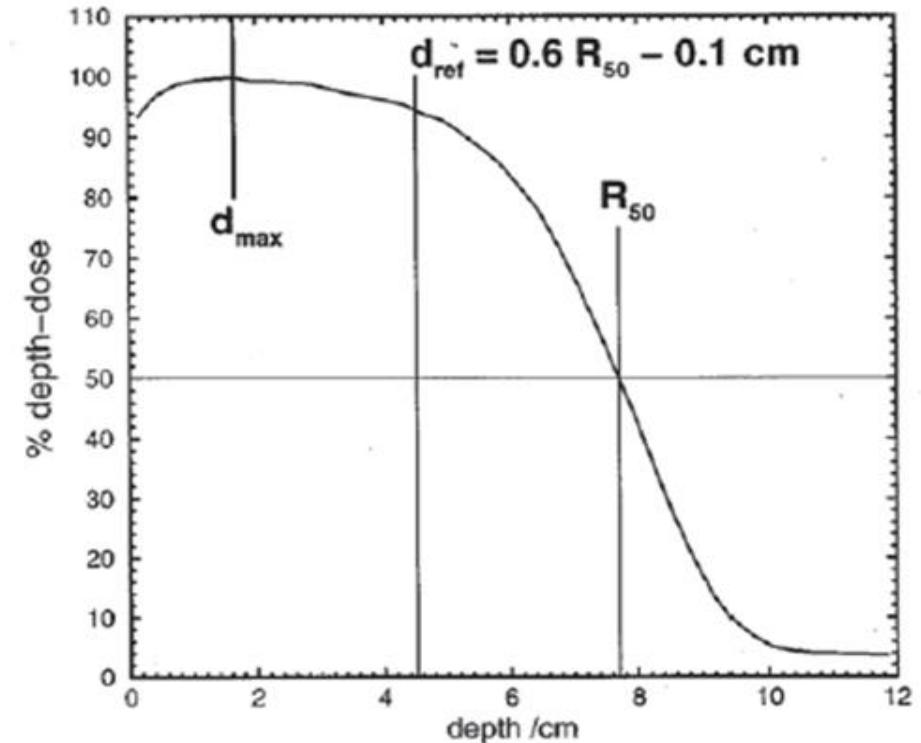
FAKULTAS
MATEMATIKA
DAN ILMU
PENGETAHUAN
ALAM

7

SPESIFIKASI BERKAS ELEKTRON

R_{50} yaitu kedalaman dimana dosis turun mencapai 50% dari dosis maksimumnya

$$z_{ref} = 0.6 R_{50} - 0.1 \text{ (cm)}$$





LINAC Elekta Synergy
Platform



LINAC Elekta
Vera HD

Berkas elektron
energi 6, 8, 10, 12,
dan 15 MeV



Detektor PTW
30013



Detektor IBA
CC13



Detektor Extradin
A1SI



Detektor
Extradin A11

Tabel 1 Faktor kalibrasi masing – masing detektor yang digunakan dalam penelitian ini

	PTW 30013	IBA CC13	Extradin A1SI	Extradin A11
$N_{D,w}^{Co}$ (Gy/nC)	$0,054 \pm 0,005$	$0,271 \pm 0,06$	$0,603 \pm 0,008$	$0,050 \pm 0,07$

Tabel 2 Karakteristik detektor silinder yang digunakan dalam penelitian ini

Jenis Detektor	Cavity			Dinding		Material elektroda <i>central</i>
	Volume (cm^3)	Panjang (mm)	Radius (mm)	Material	Ketebalan (mm)	
PTW 30013	0,6	23,0	3,05	PMMA/Gr	0,335/0,09	Al
IBA CC13	0,13	5,8	3	C552	0,4	C552
Extradin A1SI	0,057	2,025	2,025	C552	1,1	C552

Tabel 3.3 Karakteristik detektor plan-paralel yang digunakan dalam penelitian ini

Jenis Detektor	Material	Volume (cm^3)	Ketebalan <i>window</i> (mm)	Diameter <i>Electrode</i> (mm)
Extradin A11	C-552	0,62	1	20



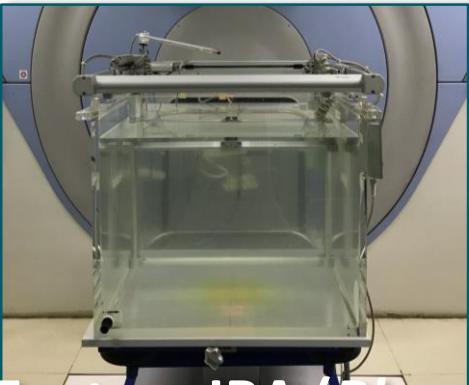
Elektrometer
UNIDOS



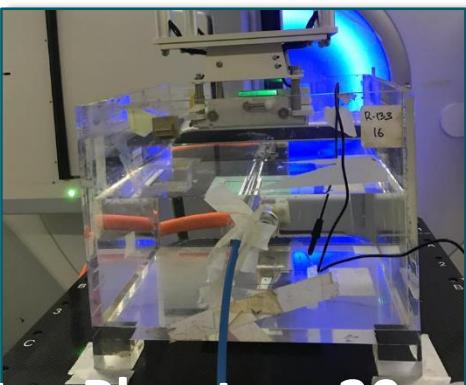
Elektrometer
Tomo



Elektrometer MAX
4000



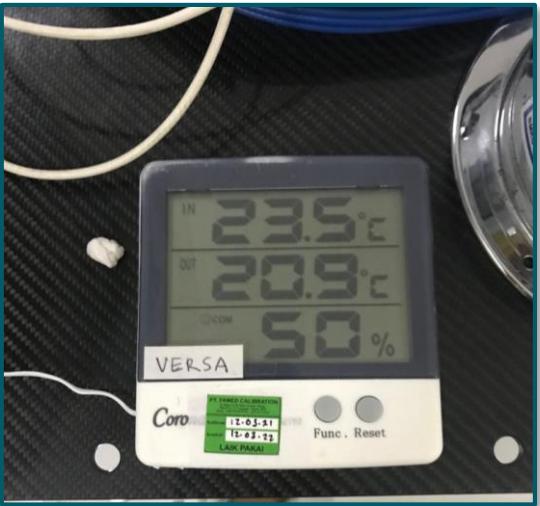
Fantom IBA (Blue
Phantom)



Water Phantom $30 \times 30 \times$
 30 cm^3



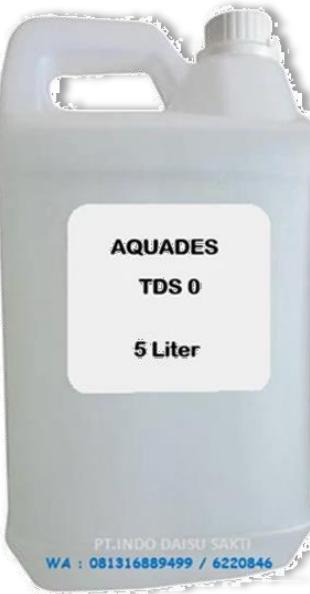
Aplikator 10×10
 cm^2



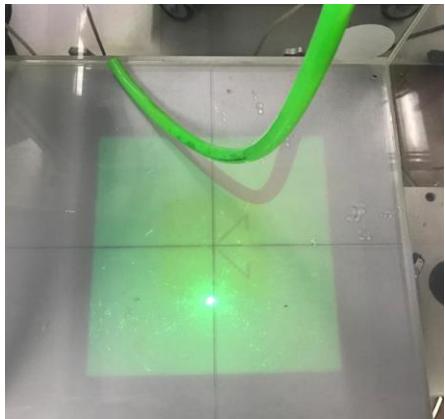
Termometer



Barometer

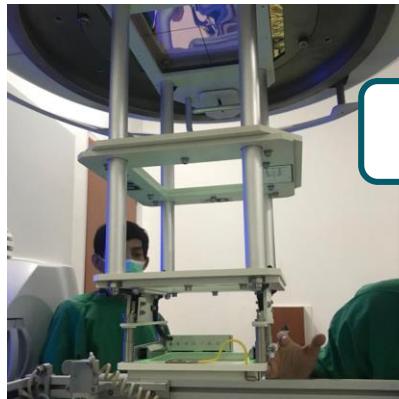


Air



1 Set up awal : memposisikan fantom tepat pada *cross hair*

3 Melakukan pemasangan aplikator ukuran 10×10 cm



2 Mengisi air ke dalam fantom sampai pada batas tertentu

4 Meletakkan detektor ionisasi sesuai dengan titik referensi

TRS-398

Detektor silinder

Diposisikan lebih dalam dari titik referensinya yaitu sebesar $0,5\text{rcyl}$

Detektor plan – paralel

Inner surface of the entrance window at the centre of the window

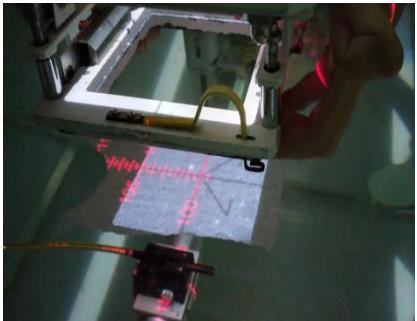
MODIFIKASI KALIBRASI

Detektor silinder

Diposisikan tepat pada titik referensinya

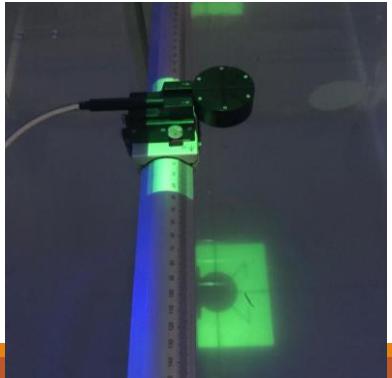
Detektor plan – paralel

Inner surface of the entrance window at the centre of the window



6

Menentukan SSD
sebesar 100 cm



5

Memposisikan
titik isocentre
atau cross wire
dari detektor

7

Memposisikan
termometer dan
barometer pada area
pengukuran

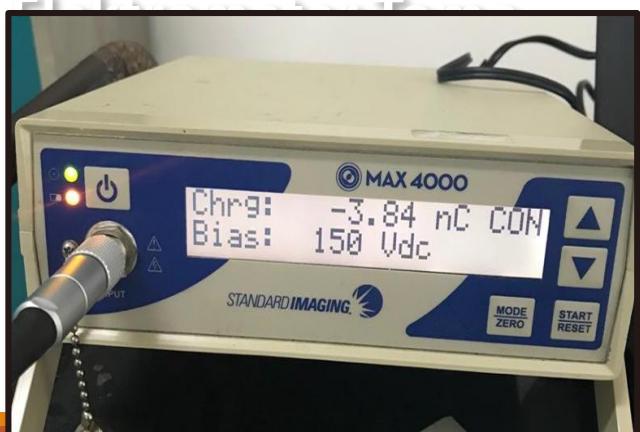
Menghubungkan Detektor dengan Elektrometer

Elektrometer PTW

Unidos

Elektrometer Max

4000



+400 volt, -400volt, dan
+100 volt
+300 volt, -300 volt, dan
+150 volt
+300 volt, -300 volt, dan
+150 volt

→ PTW 30013

→ IBA CC13 dan
Extradin A11

→ Extradin A1SI

■ Melakukan penyinaran berkas pada masing-masing tegangan sebesar 100 MU

■ Mencatat hasil bacaan (nC) yang ditampilkan oleh elektrometer



Perhitungan
menggunakan
Microsoft Excel

Perhitungan Faktor koreksi

P_{TP} (Faktor koreksi temperature-tekanan),
 P_{ion} (faktor koreksi rekombinasi ion),
 P_{pol} (faktor koreksi efek polaritas),
 P_{elec} (faktor koreksi elektrometer)

Perhitungan Bacaan koreksi (M)

$$M = M_{raw} P_{TP} P_{ion} P_{pol} P_{elec}$$

Perhitungan Faktor Kualitas Berkas (k_{Q,Q_0}) dan (k'_Q)

TRS-398 → interpolasi data R50 di Tabel 7.III dokumen IAEA TRS-399
Modifikasi → memasukkan ke dalam persamaan fitting parameter

→ Detektor plan-parallel

$$k'_Q = a + b \times e^{-R50/c}$$

→ Detektor silinder

$$k'_Q = a + b \times R_{50}^{-c}$$

Muir dan Rogers (2014)

Tabel 4 Power fitting parameter pada detektor silinder

Manufaktur	Detektor	Power Fitting Parameter		
		a	b	c
PTW	30013	0,978	0,112	0,816
IBA	CC13	0,926	0,129	0,279
Extradin	A1SI	0,205	0,854	0,036

Tabel 5 Exponential fitting parameter pada detektor plan-paralel

Manufaktur	Detektor	Exponential Fitting Parameter		
		a	b	c
Extradin	A11	0,992	0,114	2,864

Tabel 6 Faktor k_{Qecal} dari masing-masing detektor (Muir dan Rogers, 2014)

	PTW 30013	IBA CC13	Extradin A1SL	Extradin A11
k_{Qecal}	0,901	0,904	0,914	0,906

Perhitungan dosis/MIU di kedalaman referensi (z_{ref}) dari setiap hasil bacaan

TRS-398

$$D_{w,Qo}(z_{ref}) = M_{Qo} N_{D,w,Qo} k_{Q,Qo}$$

MODIFIKASI KALIBRASI

$$D_w = M' k'_Q k_{Q,ecal} N_{D,w}^{co}$$

Tabel 7 Data Percentage Depth Dose (PDD) dari setiap kedalaman referensi z_{ref} pada *Elekta Synergy Platform* dan *Elekta Versa HD*

Jenis <i>Linear Accelerator</i>	R_{50} (cm)	z_{ref} (cm)	PDD (z_{ref})
Elekta Synergy Platform	2,37	1,320	99,172
	3,17	1,802	98,810
	3,84	2,204	99,854
	4,68	2,708	99,672
	5,76	3,356	98,684
Elekta Versa HD	2,48	1,390	99,756
	3,23	1,839	99,606
	4,00	2,301	99,616
	4,75	2,750	99,760
	5,96	3,473	98,752

$$D_{w,Q}(z_{max}) = \frac{100 \times D_{w,Q}(z_{ref})}{(PDD(z_{ref}))}$$

Tabel 8 Faktor Kualitas Berkas k_{Q,Q_0} menurut TRS-398

Linear Accelerator	Energi (MeV)	R_{50} (cm)	k_{Q,Q_0}		
			PTW 30013	IBA CC13	Exradin A11
Synergy Platform	6	2,47	-	-	0,930
	8	3,23	-	-	0,921
	10	3,95	0,911	0,920	0,914
	12	4,74	0,908	0,918	0,906
	15	5,77	0,905	0,914	0,899
	6	2,43	-	-	0,931
Versa HD	8	3,22	-	-	0,921
	10	3,94	0,911	0,920	0,914
	12	4,65	0,908	0,918	0,907
	15	5,83	0,905	0,914	0,898

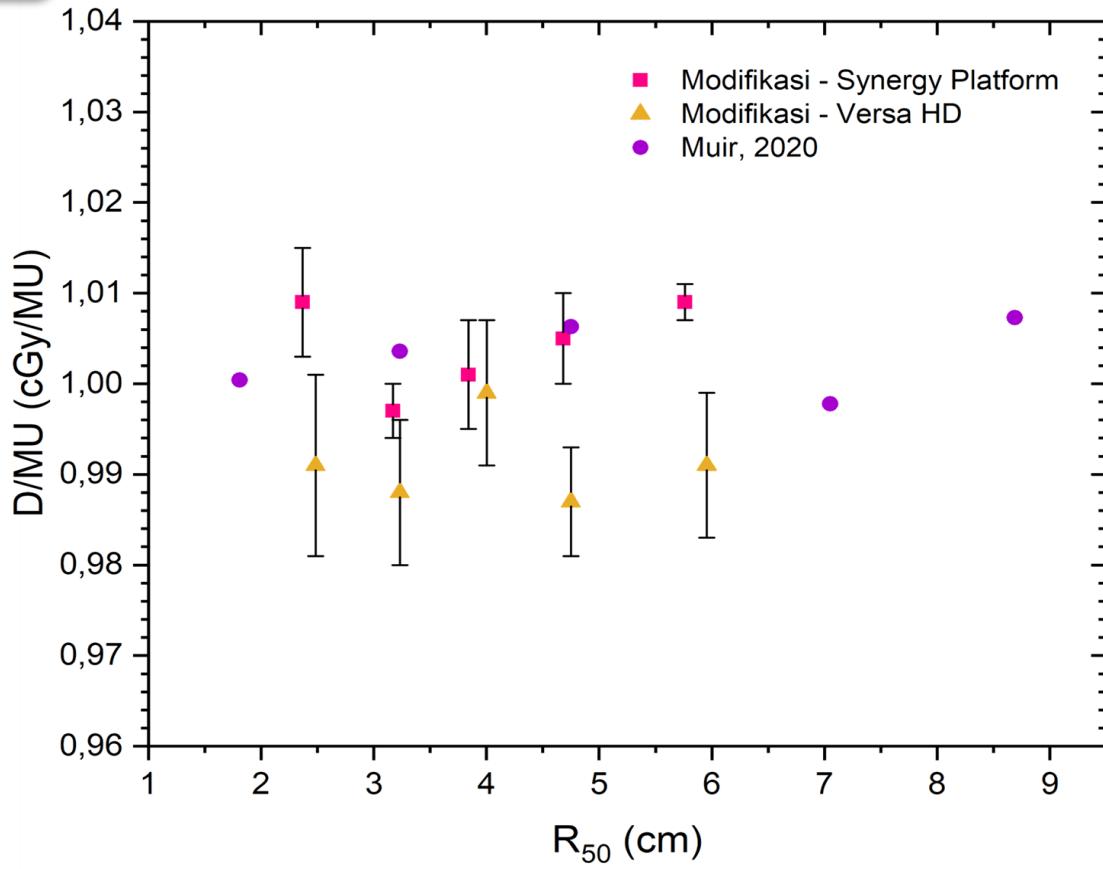
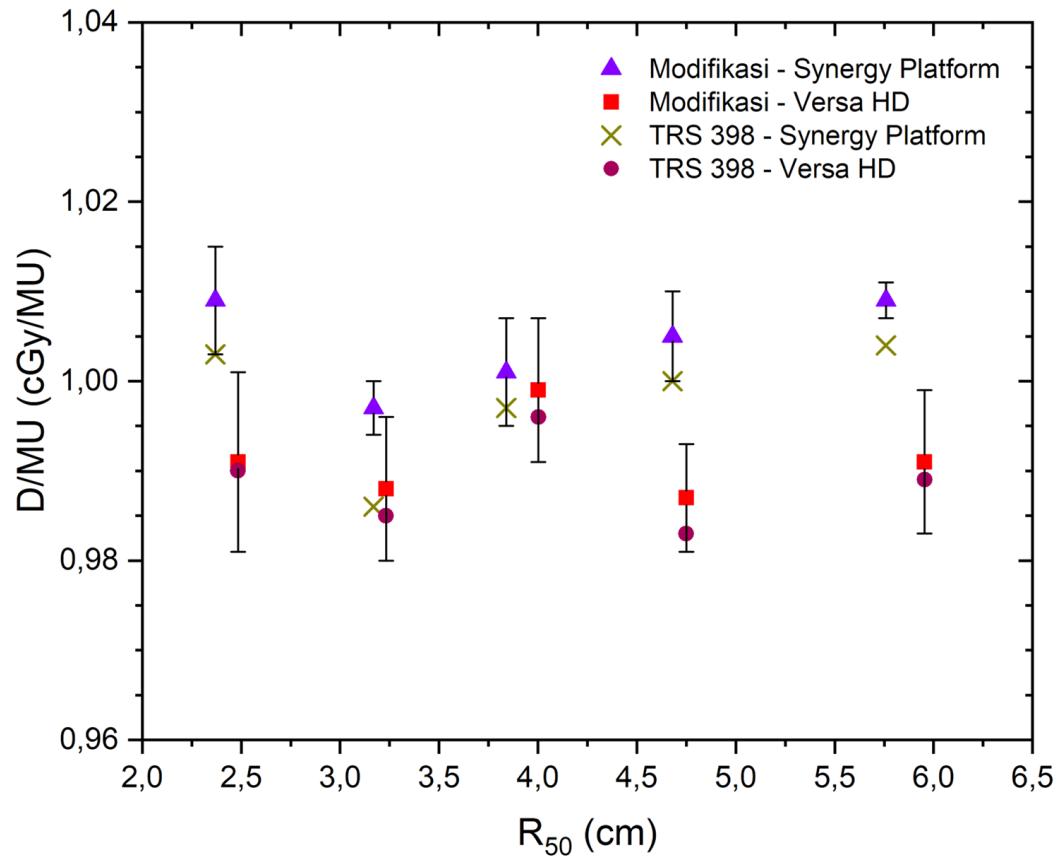
- Nilai k_{Q,Q_0} tersedia pada Tabel 7.III pada dokumen IAEA TRS-398 yang merupakan hasil kalkulasi menggunakan **nilai stopping-power ratios dan faktor koreksi pertubasi**.
- k_{Q,Q_0} hanya tersedia untuk energi 10, 12, dan 15 MeV untuk PTW 30013 dan IBA CC13.

Tabel 9 Faktor Kualitas Berkas k_{Q,Q_0} menurut AAPM TG 51

Linear Accelerator	Energi (MeV)	R_{50} (cm)	k'_Q				
			PTW 30013	IBA CC13	Exradin A11		
Synergy Platform	6	2,47	1,032	1,026	1,040		
	8	3,23	1,021	1,019	1,029		
	10	3,95	1,015	1,014	1,021		
	12	4,74	1,010	1,010	1,014		
	15	5,77	1,005	1,005	1,007		
	Q_{ecal}	7,5	$k_{Q,ecal}$				
Versa HD	Q_{ecal}	7,5	0,901	0,904	0,906		
			1,045	1,032	1,032		
			1,033	1,024	1,021		
			1,024	1,018	1,015		
			1,016	1,013	1,010		
			1,005	1,007	1,005		
			$k_{Q,ecal}$				
			0,901	0,904	0,906		

- Faktor konversi kualitas berkas yang digunakan dalam modifikasi protokol didapat dari **simulasi monte carlo**.
- Faktor k'_Q cukup bervariasi untuk setiap kamar ionisasi dan R_{50} , karena simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan **geometri dan material kamar ionisasi secara spesifik**.

Hasil: Laju Dosis



- kedua *linear accelerator* pada energi 10 MeV ($R_{50} = 3,84$ cm dan $R_{50} = 4,00$ cm) memberikan hasil perhitungan dosis yang hampir mendekati dengan perbedaan sebesar 0,2% pada modifikasi dan 0,1% pada TRS-398
- metode modifikasi kalibrasi dengan detektor yang berbeda memberikan konsistensi hasil pengukuran yang baik di semua berkas energi

11. PERBANDINGAN IAEA TRS-398 DAN AAPM TG-51 TERHADAP MODIFIKASI PROTOKOL KALIBRASI PADA DOSIMETRI BERKAS ELEKTRON

Simulasi monte carlo yang memasukkan efek gradien dalam k_Q yang diperbaharui (Muir dan Roger, 2014)

Penelitian Muir dan McEwen (2017) membuktikan chamber silinder dapat digunakan di energi rendah, variabilitas di level $\pm 0.4\%$ sama halnya dengan pelat paralel

Menggunakan k_Q yang diperbaharui, Muir (2020) mendemonstrasikan modifikasi protocol yang diajukannya

Pada 2022, Pawiro et al membandingkan hasil kalibrasi antara modifikasi dan TRS 398. Rasio dosis serap dari kedua protocol berkisar 1.000-1.014.

Tabel 10 Kondisi Pengukuran

Parameter	TRS 398	AAPM TG 51	Modifikasi/ AAPM TG 51	Modifikasi/ TRS 398
Phantom		(30 × 30 × 30) cm ³ water phantom		
Aplikator		(10 × 10) cm ²		
Kedalaman referensi		$Z_{ref} = 0.6R_{50} - 0.1 \text{ g cm}^{-2}$		
Posisi chamber				
- Pelat paralel	- Inner surface of window at center di Z_{ref}		- EPOM (effective point of measurement) di Z_{ref}	
- Silinder	- Central axis $Z_{ref} + 0.5R_{cyl}$	- Central axis di Z_{ref}	- Central axis di Z_{ref}	
MU		100		
SSD		100		

Perhitungan dosis serap:

1. AAPM TG 51

$$D_W^Q = MP_{gr}^Q k'_{R50} k_{ecal} N_{D,W}^{60Co}$$

2. TRS 398

$$D_{W,Q} = M_Q \cdot N_{D,W,Q0} \cdot k_{Q,Q0}$$

3. Modifikasi (Muir, 2020):

$$D_W = M k'_Q k_{Q,ecal} N_{D,W}^{60Co}$$

Perhitungan dosis serap maksimum:

$$D_{W,Q}(zmax) = \frac{100 \times D_{W,Q}(zref)}{(PDD(zref))}$$

Standar dosis keluaran pesawat linac pada kedalaman maksimum adalah 1 cGy/MU

Perhitungan deviasi:

$$\text{Deviasi} = (D_{w,q}(zmax) - 1) \times 100\%$$

Hasil rasio dosis serap ke air antara TRS 398 dengan modifikasi dan antara TG 51 dengan modifikasi dihitung dan dianalisis.

Tabel 8 Faktor Kualitas Berkas k_{Q,Q_0} menurut TRS-398

Linear Accelerator	Energi (MeV)	R_{50} (cm)	k_{Q,Q_0}		
			PTW 30013	IBA CC13	Exradin A11
Synergy Platform	6	2,47	-	-	0,930
	8	3,23	-	-	0,921
	10	3,95	0,911	0,920	0,914
	12	4,74	0,908	0,918	0,906
	15	5,77	0,905	0,914	0,899
	6	2,43	-	-	0,931
Versa HD	8	3,22	-	-	0,921
	10	3,94	0,911	0,920	0,914
	12	4,65	0,908	0,918	0,907
	15	5,83	0,905	0,914	0,898

- Nilai k_{Q,Q_0} tersedia pada Tabel 7.III pada dokumen IAEA TRS-398 yang merupakan hasil kalkulasi menggunakan **nilai stopping-power ratios dan faktor koreksi pertubasi**.
- k_{Q,Q_0} hanya tersedia untuk energi 10, 12, dan 15 MeV untuk PTW 30013 dan IBA CC13.

Tabel 9 Faktor Kualitas Berkas k_{Q,Q_0} menurut AAPM TG 51

Linear Accelerator	Energi (MeV)	R_{50} (cm)	k'_{R50}		
			PTW 30013	IBA CC13	Exradin A11
Synergy Platform	6	2,47	1,027	1,027	1,045
	8	3,23	1,020	1,020	1,033
	10	3,95	1,015	1,015	1,024
	12	4,74	1,010	1,010	1,015
	15	5,77	1,005	1,005	1,005
	Q_{ecal}	7,5	k_{ecal}		
Versa HD		7,5	0,897	0,904	0,888
			1,027	1,027	1,045
			1,020	1,020	1,033
			1,015	1,015	1,024
			1,011	1,011	1,016
	15	5,83	1,005	1,005	1,005
	Q_{ecal}	7,5	k_{ecal}		
			0,897	0,904	0,888

- TG-51 merekomendasikan penggunaan ruang silinder hanya untuk energi tinggi (lebih dari 6 MeV).
- Faktor konversi kualitas berkas pada TG-51 untuk berkas elektron disusun oleh **faktor koreksi gradien, faktor konversi kualitas berkas elektron, dan faktor konversi foton-elektron.**

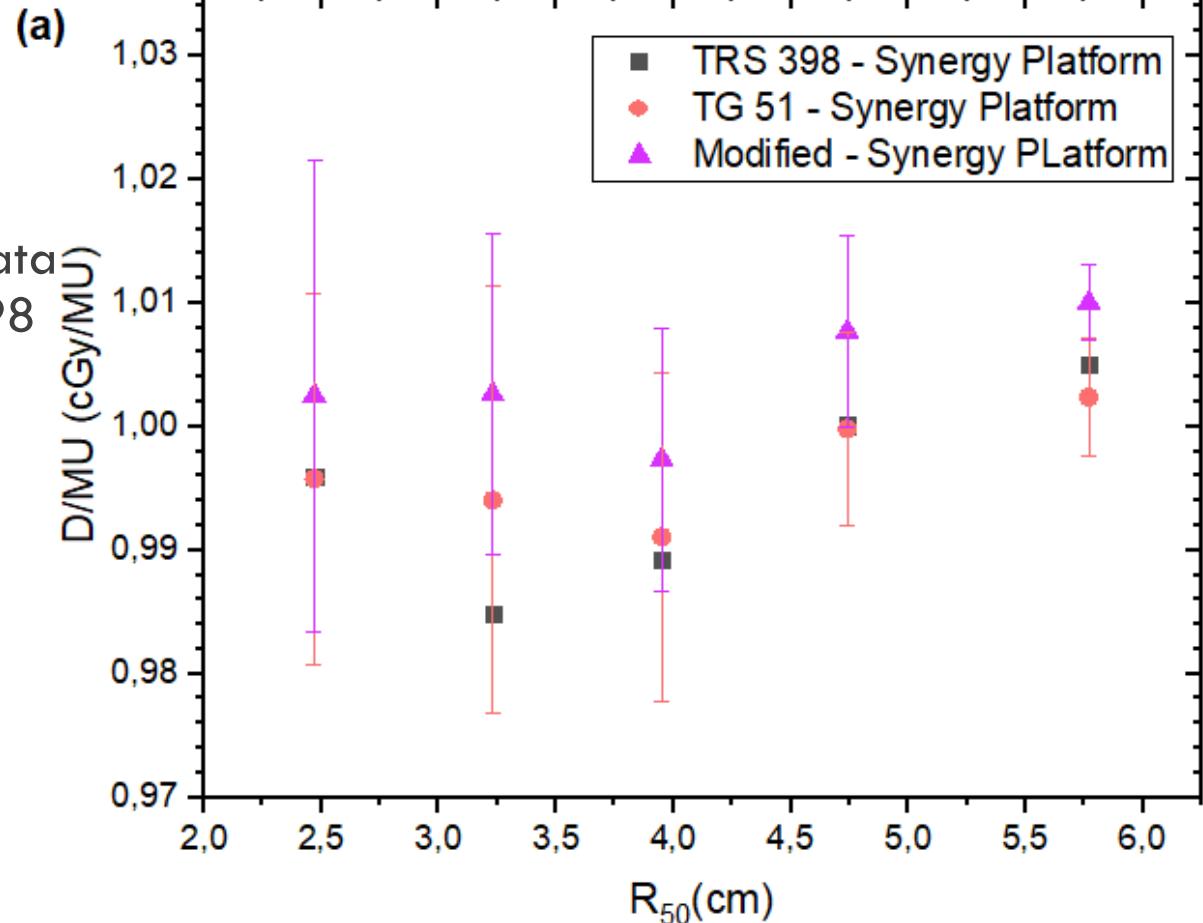
Tabel 11 Faktor Kualitas Berkas $k_Q(Q, Q_0)$ menurut modifikasi kalibrasi

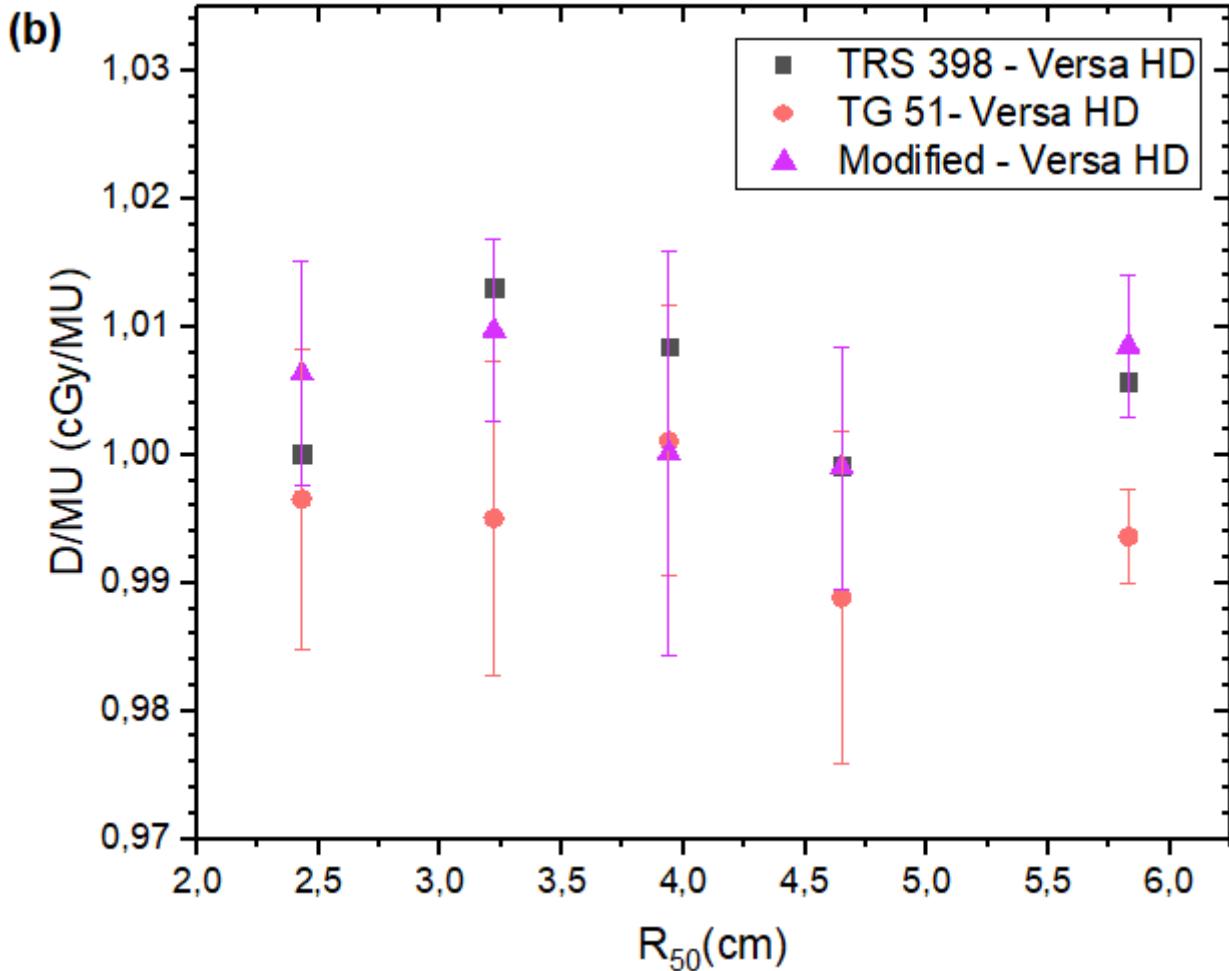
Linear Accelerator	Energi (MeV)	R_{50} (cm)	k'_Q		
			PTW 30013	IBA CC13	Exradin A11
Synergy Platform	6	2,47	1,032	1,026	1,040
	8	3,23	1,021	1,019	1,029
	10	3,95	1,015	1,014	1,021
	12	4,74	1,010	1,010	1,014
	15	5,77	1,005	1,005	1,007
Versa HD	Q_{ecal}	7,5	$k_{Q,ecal}$		
			0,901	0,904	0,906
	6	2,43	1,045	1,032	1,032
	8	3,22	1,033	1,024	1,021
	10	3,94	1,024	1,018	1,015
	12	4,65	1,016	1,013	1,010
	15	5,83	1,005	1,007	1,005
	Q_{ecal}	7,5	$k_{Q,ecal}$		
			0,901	0,904	0,906

- Faktor konversi kualitas berkas yang digunakan dalam modifikasi protokol didapat dari **simulasi monte carlo**.
- Faktor k'_Q cukup bervariasi untuk setiap kamar ionisasi dan R_{50} , karena simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan **geometri dan material kamar ionisasi secara spesifik**.

Data akhir dipresentasikan dalam bentuk dosis per monitor unit (D/MU) pada kedalaman maksimum.

Modifikasi kalibrasi memberikan deviasi rata-rata pada hasil D/MU yang lebih besar dari TRS-398 (0,48% untuk Synergy Platform) dan TG-51 (1,03% untuk Synergy Platform) yaitu 1,06%.

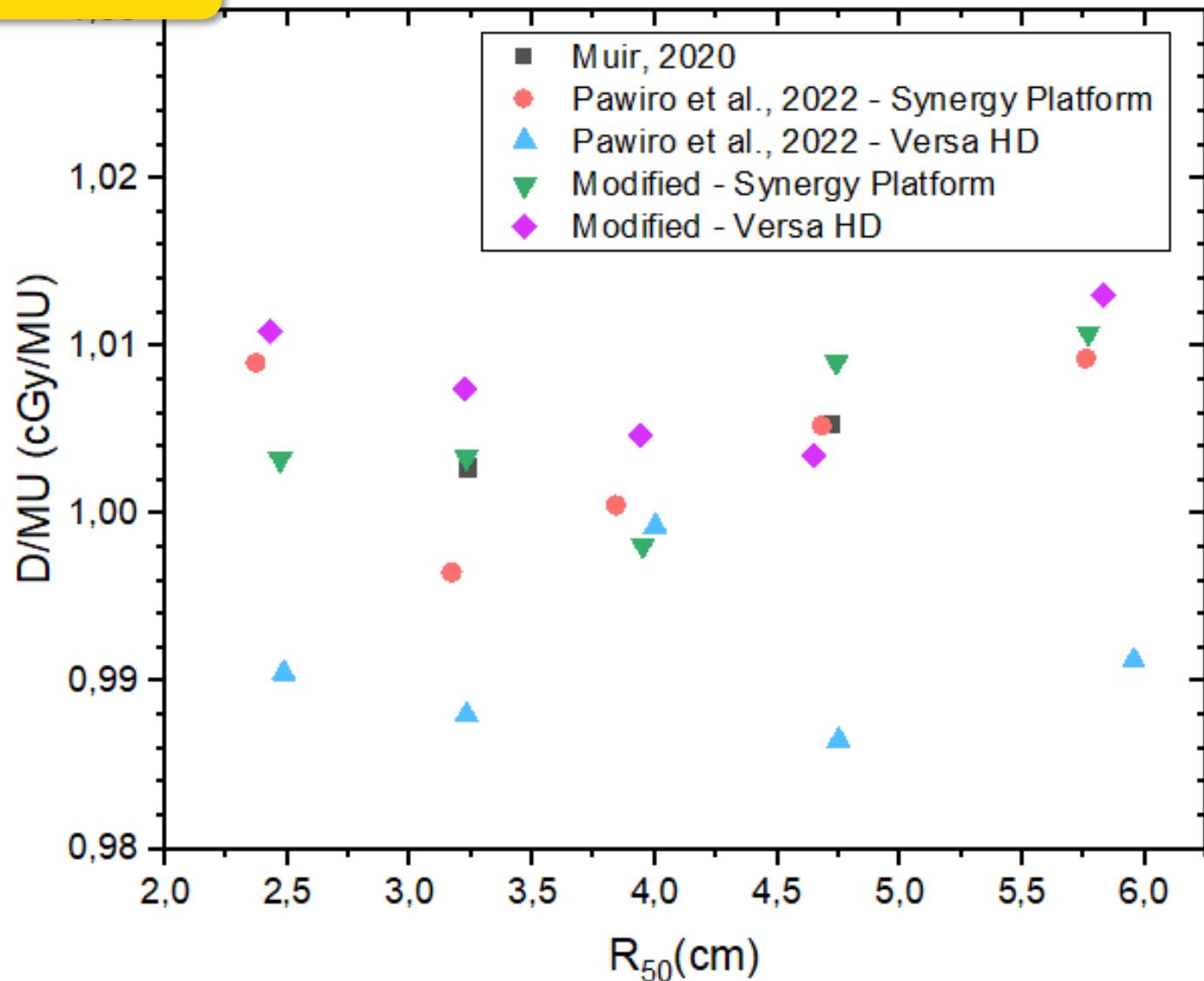




Pada Versa HD, modifikasi kalibrasi memberikan deviasi rata-rata pada hasil D/MU yang lebih kecil dari TRS-398 (1,03% untuk Versa HD) dan dari TG-51 (1,17% untuk Versa HD) yaitu 0,9%.

Standar deviasi ditampilkan mewakili variabilitas hasil menggunakan berbagai jenis kamar ionisasi.

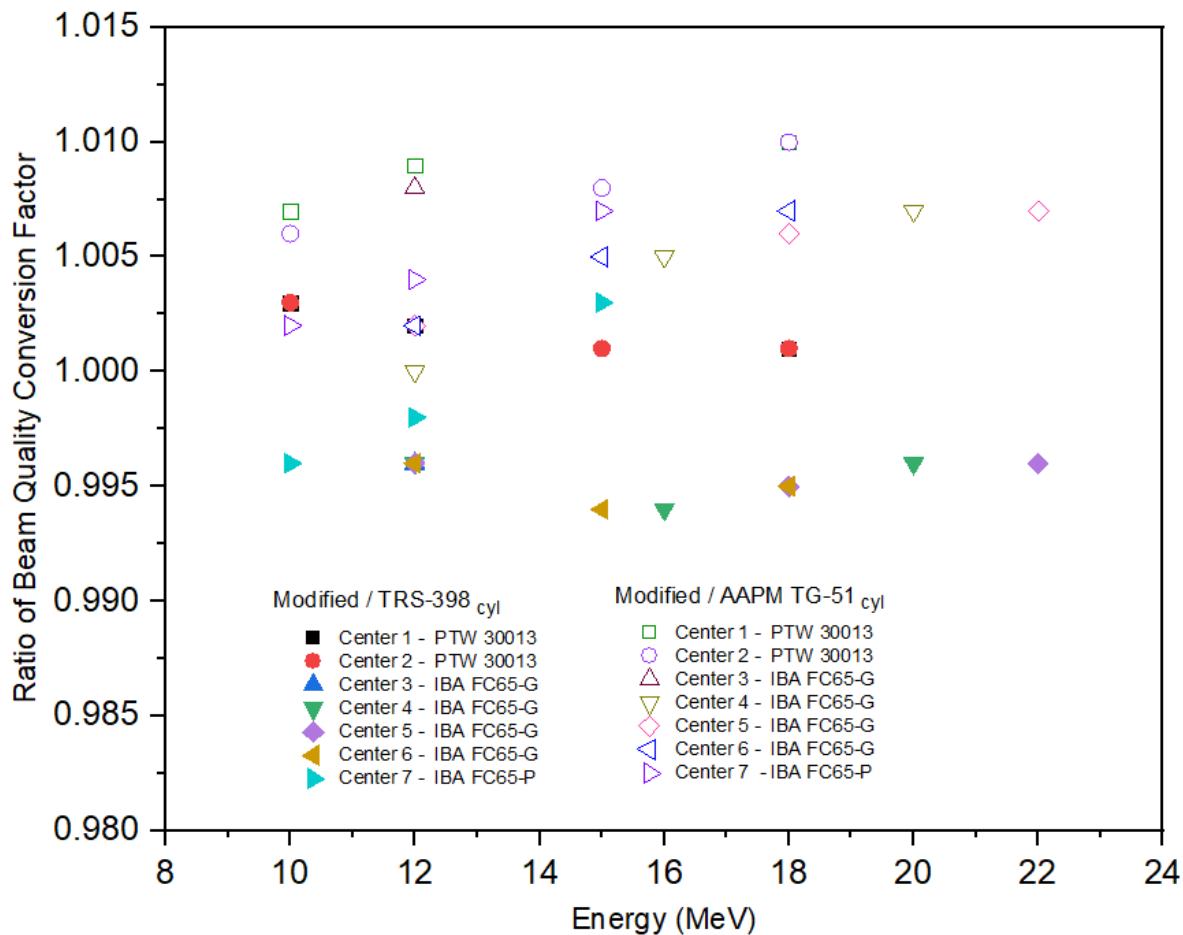
Deviasi dalam D/MU untuk modifikasi kalibrasi pada penelitian sebelumnya adalah 0,4% (Muir, 2020) dan 0,4–0,5% (Pawiyo et al., 2022), sedangkan dalam penelitian ini, deviasi untuk modifikasi kalibrasi adalah 0,9–1,06 %.



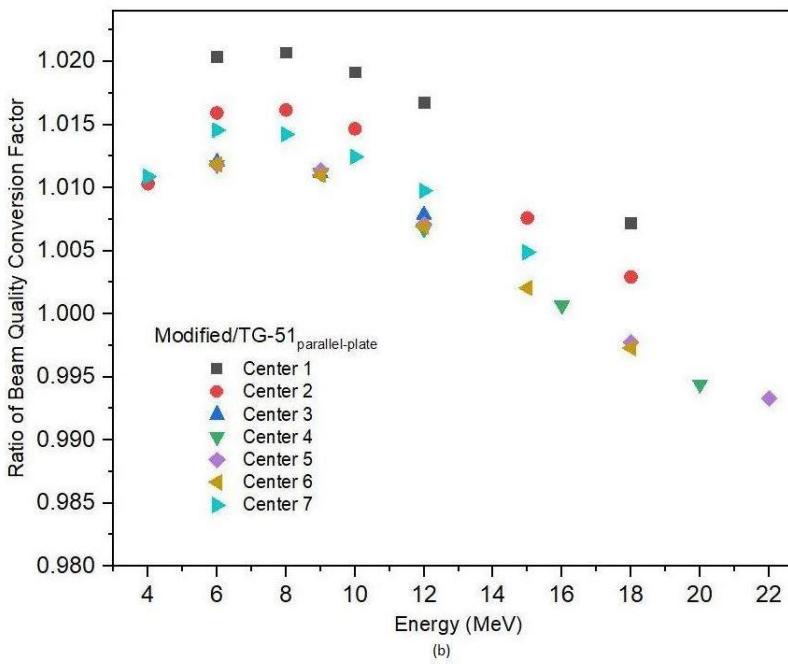
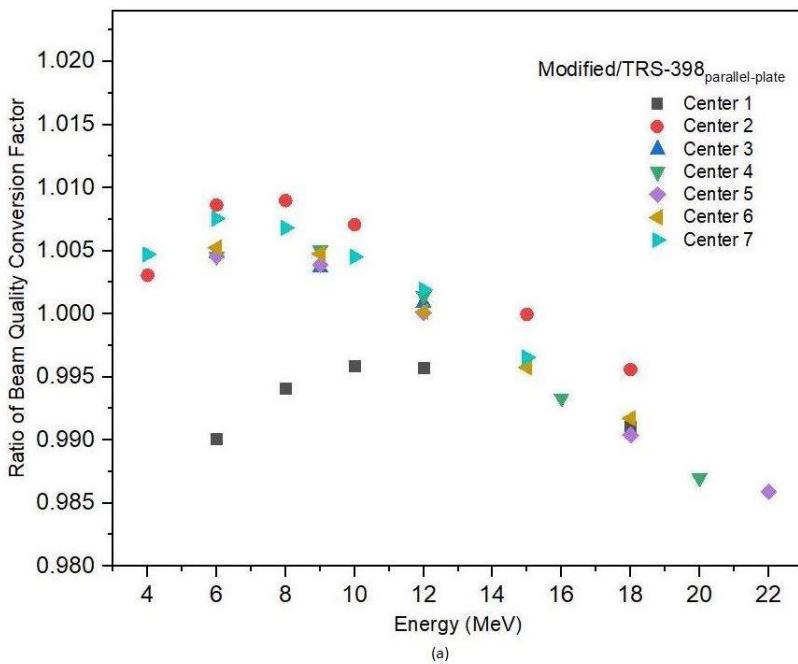


Veritas, Probitas, Iustitia
— EST. 1849 —

12. Kajian Multi Institusi



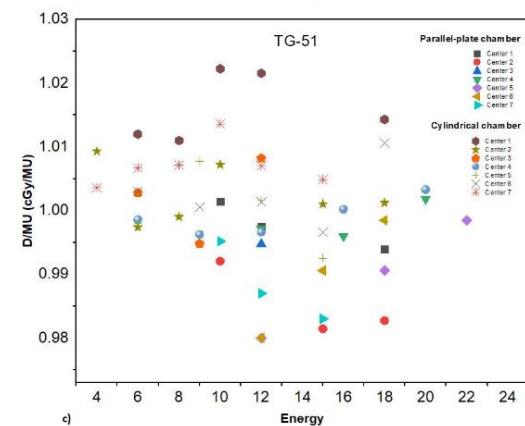
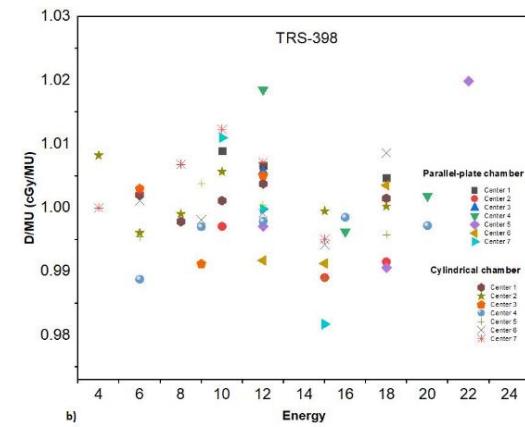
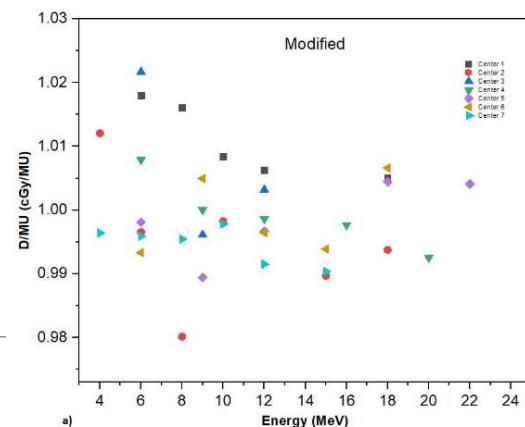
- ❖ Rasio factor konversi kualitas berkas prosedur modifikasi terhadap $\text{TRS-398}_{\text{cyl}}$ adalah pada jangkauan 0.994 to 1.003
- ❖ Rasio factor konversi kualitas berkas prosedur modifikasi terhadap $\text{TG-51}_{\text{cyl}}$ adalah pada jangkauan 1.000 to 1.010



- ❖ Rasio faktor konversi kualitas berkas prosedur modifikasi terhadap TRS-398_{parallel-plate} adalah pada jangkauan 0.986 to 1.009
- ❖ Rasio faktor konversi kualitas berkas prosedur modifikasi terhadap TG-51_{parallel-plate} adalah pada jangkauan 0.993 to 1.021

Hasil : Laju Dosis

- Laju dosis keluaran berkas elektron berada pada jangkauan $0.980 - 1.022$ cGy/MU.
- Laju dosis berdasarkan TRS 398 pada jangkauan from $0.982 - 1.020$ cGy/MU and $0.989 - 1.012$ cGy/MU untuk cylindrical chamber and parallel-plate chambers,
- Laju dosis berdasarkan TG-51 using cylindrical and parallel-plate chamber.



Center	Energy (MeV)	Modified/TRS-398 _{cyl}	Modified/TRS-398 _{parallel-plate}	Modified/TG-51 _{cyl}	Modified/TG-51 _{parallel-plate}
1	6	-	1.016	-	1.006
	8	-	1.018	-	1.005
	10	0.999	1.007	1.007	0.986
	12	1.000	1.002	1.009	0.985
	18	1.000	1.004	1.011	0.991
2	4	-	1.004	-	1.003
	6	-	1.000	-	0.999
	8	-	0.981	-	0.981
	10	1.001	0.993	1.006	0.991
	15	1.001	0.990	1.008	0.989
	18	1.002	0.994	1.011	0.993
3	6	-	1.019	-	1.019
	9	-	1.005	-	1.001
	12	0.998	0.998	1.008	0.995
4	6	-	1.019	-	1.009
	9	-	1.003	-	1.004
	12	0.980	1.001	1.001	1.002
	16	1.001	0.999	1.001	0.997
	20	0.991	0.995	0.991	0.989
5	6	-	1.003	-	1.000
	9	-	0.986	-	0.982
	12	1.000	0.996	1.017	0.995
	18	1.014	1.016	1.014	1.012
	22	0.984	1.008	1.006	1.006
6	6	-	0.992	-	0.990
	9	-	1.007	-	1.004
	12	1.005	0.997	1.017	0.995
	15	1.003	1.000	1.003	0.997
	18	1.003	0.99	1.008	0.996
7	4	-	0.996	-	1.000
	6	-	0.994	-	1.002
	8	-	0.989	-	1.007
	10	0.987	0.986	1.003	1.012
	12	0.992	0.985	1.005	1.007
	15	1.009	0.995	1.007	0.995

- Rasio Laju dosis prosedur kalibrasi terhadap protocol TRS 398 dan TG 51
- Rasio Laju dosis modifikasi/TRS-398_{cyl} pada jangkauan 0.980 – 1.014
- Rasio Laju dosis prosedur modifikasi/TG-51_{cyl} pada jangkauan 0.991 – 1.017.
- Rasio Laju dosis prosedur modifikasi/TRS-398_{parallel-plate} pada jangkauan 0.981 – 1.019
- Rasio Laju dosis prosedur modifikasi /TG-51_{parallel-plate} pada jangkauan 0.981 – 1.019.

-
- ❖ Hasil laju dosis keluaran berkas elektron linac D/MUpada sampel uji dari ketiga protokol di bawah tingkat toleransi ($\pm 2\%$)
 - ❖ Rasio laju dosis prosedur modifikasi terhadap protocol IAEA 398 dan AAPM TG 51 berada pada devisasi $< 2\%$
 - ❖ Prosedur modifikasi berpotensi merubah protocol dosimetri kalibrasi berkas elektron dengan hanya menggunakan detector silinder pada semua energi

On Going Project

- ❖ Prosedur Modifikasi pada berkas elektron dosis tinggi (HDRE)
- ❖ Efek Prosedur Modifikasi pada kalibrasi silang detector
- ❖ Kajian Multi Institusi kolaborasi dengan Chulalongkorn University, Thailand
- ❖ Kajian Multi Institusi Kolaborasi dengan Pakistan Institute of Engineering and Applied Sciences



Terima Kasih ★ Thank You



KEMENTERIAN
KESEHATAN
REPUBLIK
INDONESIA

