Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Volume 21, Nomor 2, Juni 2024
1819-796X (p-ISSN); 2541-1713 (e-ISSN)

Analisis Perbandingan Variasi *Cut Out Transmission* pada Aplikator dengan Ukuran 10x10 cm² terhadap Keluaran Berkas Elektron pada Pesawat Linac

Alisya Oktafianingrum[1)], Pratiwi Sri Wardani[1)], Erlinda Ratnasari Putri[1,*)], Robert Janssen Stevenly[2)]

[1)] Universitas Mulawarman, Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur
[2)] Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda, Kalimantan Timur

Email korespodensi : erlinda.putri@fmipa.unmul.ac.id

DOI: https://doi.org/10.20527/flux.v21i2.17701
Submitted: 25th October, 2023; *Accepted*: 29th May, 2024

ABSTRAK- Radioterapi memberikan dosis minimal pada jaringan normal di sekitar kanker, dan memberikan dosis maksimal pada jaringan tidak normal untuk pasien terapi kanker. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan keluaran berkas elektron dengan pengukuran variasi *cut out transmission* (menggunakan blok bawaan, tanpa menggunakan blok, dan menggunakan blok (*cerrobend*). Aplikator ukuran 10x10 cm² dipasangkan pada Linac kemudian dipasangkan blok (timbal dan *cerrobend*) atau pengukuran tanpa blok, diukur muatan yang ditangkap dengan detektor ionisasi Markus dan media *water phantom* dengan energi 12 MeV dan dosis radiasi 100 MU. Hasil pengukuran menggunakan blok bawaan (timbal) sebesar 100 cGy, blok *cerrobend* sebesar 100 cGy, pengukuran tanpa menggunakan blok sebesar 102 cGy. Ketiga pengukuran terdapat perbandingan dalam hasil, dengan mendapatkan nilai deviasi (penyimpangan nilai antara keluaran berkas elektron dengan nilai standar batas toleransi) 0%, 0%, dan 2%. Pengukuran tersebut masih dalam standar batas toleransi TRS IAEA 398, yaitu±2%.

KATA KUNCI: Aplikator, Blok, Elektron, Radioterapi, TRS *398*

ABSTRACT– *Radiotherapy provides a minimum dose to normal tissue around the cancer, and provides a maximum dose to abnormal tissue for cancer therapy patients. The aim of this research is to compare the electron beam output with measurements of cut out transmission variations (using a built-in block, without using a block, and using a cerrobend block). This research used a 10x10 cm2 applicator which was attached to the Linac and then a block (lead and cerrobend) was installed or measurements without a block were measured. The charge was measured using a Marcus ionization detector and water phantom media with an energy of 12 MeV and a radiation dose of 100 MU. The measurement results using the built-in block (lead) were 100 cGy, the cerrobend block was 100 cGy, measurements without using the block were 102 cGy. For the three measurements, there is a comparison of the results by getting deviation values (the deviation in value between the electron beam output and the standard tolerance limit value) of 0%, 0%, and 2%. These measurements are still within the IAEA 398 TRS tolerance limit standard, namely ± 2%.*

KEYWORDS: Applicator, Block, Electron, Radiotherapy, TRS 398

PENDAHULUAN

Pengobatan medis dengan menggunakan radiasi pengion untuk membunuh sel kanker dengan maksimal dalam tubuh tanpa melakukan operasi dengan terapi radioterapi (Winarno *et al.*, 2021). Dosis radiasi harus diberikan seminimal mungkin pada jaringan yang sehat, dan memberikan semaksimal mungkin pada sel kanker atau tumor (Santoso *et al.*, 2020).

Alat pengobatan yang digunakan dalam radioterapi, salah satunya adalah *Linear Accelerator* (Linac) (Suharmono *et al*., 2020). Penggunaan gelombang elektromagnetik frekuensi tinggi oleh Linac dapat mempercepat partikel bermuatan (Khan, 2003). Linac mengeluarkan berkas foton dan elektron (Puspitasari, 2020).

Terapi menggunakan berkas elektron, Linac dilengkapi dengan aplikator. Berkas elektron, berasal dari hamburan yang dilepaskan oleh aplikator, mengirimkan radiasi ke pasien dalam dosis yang sesuai dengan jaringan normal dan organ target. Jaringan normal dilindungi dan diberikan dosis radiasi yang tepat pada organ target. Terapi elektron menggunakan alat bantu berupa blok individual. Blok individual berguna membatasi area lapangan penyinaran. Blok dibuat secara manual dengan menyesuaikan bentuk area lapangan penyinaran *(Ramona et al*., 2020).

Salah satu blok individual adalah blok berbahan *cerrobend.* Blok *cerrobend* memiliki keuntungan dalam penggunaannya; dengan mudah untuk dapat dileburkan, sehingga memudahkan dalam proses pencetakan sesuai dengan ukuran lapangan penyinaran dan pada bentuk kanker itu sendiri. Keuntungan lain dari blok *cerrobend* adalah memiliki titik lebur dengan suhu 70℃, serta pada saat *cerrobend* berada di suhu ruang maka akan lebih mudah mengeras, dan *cerrobend* juga memiliki nilai harga jual terjangkau dan mudah untuk mendapatkannya. Kandungan yang terdapat dari *cerrobend* adalah 50% bismut, 26,7% timbal, 13,3% timah, dan 10% cadmium, dengan memiliki nilai densitas 9,4 g/cm^3 (Indriyana *et al*., 2014).

Penelitian untuk menganalisis keluaran berkas elektron menggunakan variasi *cut out transmission* yang meliputi blok bawaan dari alat aplikator berbahan timbal, tanpa blok, dan blok buatan sendiri berbahan *cerrobend.* Perbedaan antara blok berbahan timbal dengan berbahan *cerrobend* terletak pada titik didihnya. Titik lebur pada timbal mencapai 327,5℃, nilai densitas *cerrobend* 83% lebih besar dari densitas timbal. Timbal (*plumbum*) adalah logam dengan empat bentuk isotop berwarna kebiru-biruan atau abu-abu keperakan (Gusnita, 2012; Khan, 2003).

Pada penelitian sebelumnya, blok *cerrobend* juga digunakan Ramona *et al*. (2020). Mereka telah meneliti dosis radiasi menggunakan blok *cerrobend* dan tanpa blok agar sesuai dengan dosis radiasi *Treatment Planning System* (TPS). Kemudian, penelitian mengenai blok *cerrobend* dilanjutkan oleh Setiawati *et al*. (2018) yang menggunakan ukuran dan lokasi blok yang berbeda dengan empat variasi energi. Heru *et al*. (2017) lebih dulu telah melakukan penelitian menggunakan blok *cerrobend*, bertujuan untuk melakukan verifikasi nilai dosis radiasi pada dua energi berbeda dan ukuran blok yang berbeda. Hasil dari penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa *output* radiasi memenuhi batas toleransi dan nilai deviasi di bawah 2% yang disarankan untuk terapi klinis dalam *square.* Studi yang dilakukan oleh (Heru et al., 2017; Ramona *et al*., 2020) menampilkan perhitungan deviasi antara dosis radiasi yang diukur pada *slab phantom* terhadap dosis radiasi pada TPS. Sementara itu, penelitian Setiawati *et al.* (2018) menampilkan perhitungan nilai deviasi antara lokasi lapangan penyinaran keluaran radiasi terhadap luas lapangan radiasi.

Radiasi dilepaskan dan dibawa oleh materi atau ruang dalam bentuk partikel atau gelombang elektromagnetik dari sumber radiasi. Radiasi pengion dan non pengion dapat ditransmisikan (Santoso *et al*., 2020). Radiasi non-pengion tidak dapat mengubah ion-ion yang dilewatinya serta tidak menimbulkan efek ionisasi saat berinteraksi dengan materi. Di sisi lain, radiasi pengion memiliki kemampuan untuk melepaskan elektron dari orbit suatu atom, yang menyebabkan terbentuknya muatan atau terjadinya ionisasi (Septiyanti *et al*., 2020).

Radiasi gelombang elektromagnetik adalah saat energi medan magnet merambat pada kecepatan cahaya yang ter bawa oleh osilasi medan listrik, seperti sinar-X dan sinar gamma (Fitriatuzzakiyyah *et al., 2017)*.

Dosis serap adalah pembagian energi rata-rata dengan massa materi yang diukur dalam radian (rad) (Khan, 2003). Dosis serap, yang diukur dengan dengan *water phantom* atau *solid phantom*, digunakan untuk mengukur efek paparan radiasi di suatu lokasi. Ada beberapa karakteristik radiasi, salah satunya adalah hamburan dan serapan hampir sama dengan jaringan lunak dan jaringan otot yang terdapat di tubuh manusia (E.B. Podgorsak, 2005). Dosis serap terhadap air adalah besaran yang menjadi perhatian utama dalam terapi radiasi karena berkaitan dengan efek biologis dari radiasi (Mather & Mansi, 2008).

Berkas elektron memberikan serapan yang lebih besar pada target yang dituju dan disesuaikan dengan kebutuhan (Mayles *et al*., 2007). Untuk berkas elektron tertentu, faktor keluaran harus diukur kedalaman maksimum (Z_{max}) pada ukuran bidang non-referensi dan SSD (*Source to Surface Distance)* yang digunakan untuk pengobatan pasien. Faktor keluaran dapat ditentukan sebagai dosis serap Z_{max} untuk serangkaian kondisi non-referensi yang diberikan relatif terhadap dosis serap pada kedalaman referensi ekuivalen (Z_{ref}) atau Z_{max} di bawah kondisi referensi yang sesuai. Pengguna harus menyadari variasi kedalaman dosis maksimum Z_{max}, khususnya untuk ukuran medan kecil dan energi tinggi (IAEA, 2000).

Detektor, seperti silikon dioda, dioda intan sintetik, dan bilik ionisasi. Faktor keluaran akan cukup didekati dengan pembacaan detektor pada kondisi non-referensi relatif terhadap kondisi referensi. Jika ruang ionisasi digunakan, rasio pengukuran arus atau muatan ionisasi terkoreksi harus dikoreksi untuk variasi dalam $S_{w,air}$ (IAEA, 2000).

TRS 398 merupakan panduan dalam kode praktis klinis yang diterapkan, salah satunya pada berkas elektron yang memiliki energi tinggi 4 MeV sampai 25 MeV. Panduan ini menggunakan standar dosis serap air untuk mengetahui dosis serap berkas radiasi terapi eksternal. Dalam panduan ini juga terdapat langkah-langkah untuk menentukan laju dosis serap berkas elektron dalam *phantom* dengan mencari faktor koreksi. Faktor koreksi tersebut adalah sebagai berikut.

a) Faktor Temperatur dan Tekanan (K_{TP})
   K_{TP} merupakan temperatur dan tekanan udara terhadap referensi, yaitu 20˚C dan 101,325 kPa. Nilai koreksi ini dapat ditentukan dengan Pers. 1(IAEA, 2000).

$$K_{TP} = \frac{273{,}15+T\cdot P_0}{273{,}15+T_0\cdot P} \quad (1)$$

b) Elektrometer (K_{elec})
   K_{elec}adalah kalibrasi elektrometer, dengan faktor kalibrasi bernilai 1 jika tidak tercantum dalam sertifikat, yang artinya dikalibrasi secara bersamaan dengan elektrometer (IAEA, 2000).

c) Efek Polaritas (K_{pol})
   K_{pol} adalah koefisien yang menyatakan respons detektor ionisasi terhadap efek pergantian polaritas yang diberikan pada detektor. Pada kebanyakan penyinaran di foton berenergi tinggi, efek polaritas ini diabaikan. Ini menyebabkan bagian ini harus diperiksa untuk setiap gabungan kualitas detektor yang digunakan, K_{pol} dapat ditentukan dengan Pers. 2

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

   (IAEA, 2000).
   Nilai M dihitung dengan Pers. 3

$$M = \frac{Dosimeter\ Reading}{Monitor\ Unit} \quad (3)$$

   (Setiawan, 2016).

d) Rekombinasi Ion (K_s)
   Rekomendasi ion (K_s) adalah nilai respons detektor ionisasi terhadap kurangnya pengumpulan muatan pada ionisasi di udara. Nilai K_s dihitung dengan Pers. 4

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

   (IAEA, 2000).

e) Bilik Ionisasi

Modalitas menghitung jumlah ionisasi yang terjadi di dalam rongga detektor dikenal sebagai bilik ionisasi. Dalam proses radioterapi, modalitas ini digunakan untuk menentukan dosis radiasi yang diberikan. Suhu, tekanan, kalibrasi elektrometer, efek polaritas dan rekombinasi ion memengaruhi pembacaan bilik ionisasi. Pembacaan nilai pada bilik ionisasi ditentukan oleh Pers. 5

$$M_Q = M \cdot h_{pl} \cdot K_{TP} \cdot K_{elec} \cdot K_{pol} \cdot K_s \quad (5)$$

(IAEA, 2000).

f) Respons Detektor Ionisasi

Tabel 18 TRS 398 IAEA menunjukkan perbedaan antara respon detektor ionisasi dalam kualitas berkas yang digunakan untuk kalibrasi detektor (Co-60) terhadap kualitas berkas elektron (IAEA, 2000).

g) Kedalaman Referensi

Dengan menggunakan dosimeter *ion chamber*, kedalaman referensi ekuivalen (Z_{ref}) ditentukan di dalam *water phantom* berukuran (36x42x36) cm^3, dengan luas lapangan (10x10) cm dan SSD (*Source to Surface Distance*) 100 cm. Z_{ref} pada berkas foton ditentukan dengan Pers. 6

$$Z_{ref} = 0{,}60R_{50} - 0{,}1\ g/cm^2 \quad (6)$$

(IAEA, 2000).

h) Dosis Serap

Persamaan 7 menghitung dosis serap di air pada suatu berkas dengan kualitas Q berdasarkan protokol IAEA TRS 398 yaitu

$$D_{w,Q}(Z_{ref}) = M_Q \cdot N_{D,w,Q_0} \cdot K_{Q,Q_0} \quad (7)$$

Setelah keluaran berkas sinar-X diketahui pada kedalaman referensi, maka keluaran berkas sinar-X dapat dihitung pada saat kedalaman maksimum. Dosis serap dapat dihitung pada kedalaman maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan Pers. 8

$$D_{w,Q}(Z_{maks}) = \frac{100 D_{w,Q}(Z_{ref})}{PDD(Z_{ref})} \quad (8)$$

(IAEA, 2000).

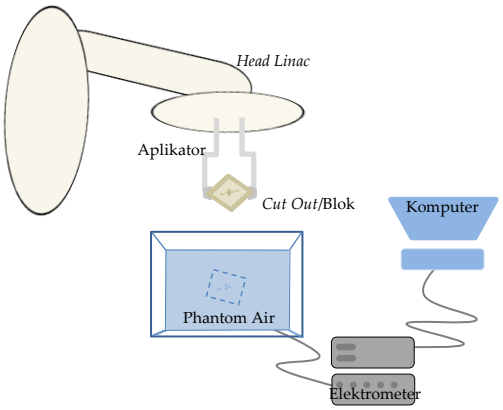
i) Perhitungan Persimpangan Dosis

Hasil perhitungan dosis di TPS dan pengukuran dosis radiasi *phantom* telah didapatkan, maka deviasinya dihitung dengan Pers. 9

$$Deviasi = \frac{D_{Pengukuran} - D_{TPS}}{D_{TPS}} \quad (9)$$

Menurut protokol IAEA TRS 398, deviasi dosis radiasi antara perhitungan TPS dengan radiasi pengukuran tidak melebihi ±2% (IAEA, 2000).

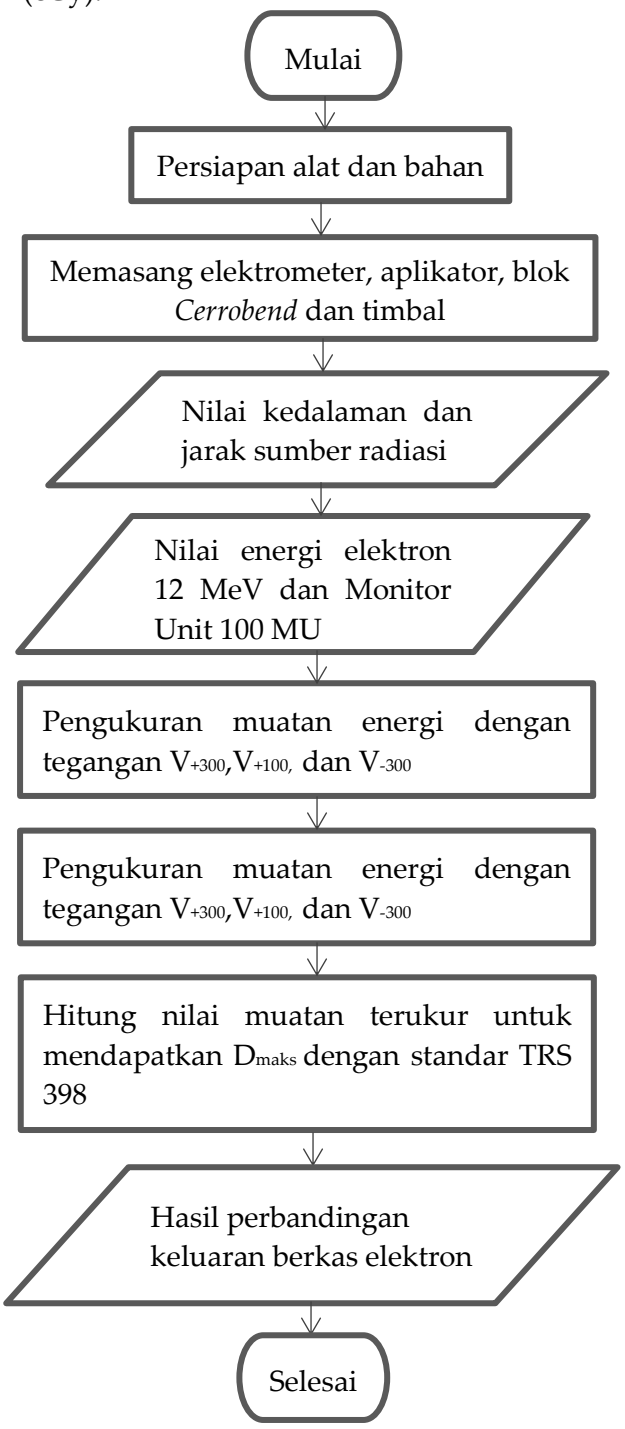
METODE PENELITIAN



Gambar 1. Ilustrasi Pengukuran Keluaran Berkas Elektron

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif analitik untuk menganalisis nilai keluaran dosis radiasi dengan perbandingan pengukuran variasi *cut out transmission* dengan menggunakan energi dosis radiasi sebesar 12 MeV menggunakan *water phantom* dan detektor ionisasi *Marcus* pada pesawat Linac di Instalasi Radioterapi RSUD Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda, Kalimantan Timur. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan SSD (*Source to Surface Distance*) atau jarak sumber ke permukaan sebesar 100 cm menggunakan luas lapangan 10x10 cm^2 di permukaan *water phantom*. Dosis radiasi pada *water phantom* didapat dari nilai pengolahan data dengan pengukuran awal, dengan mencatat nilai suhu, tekanan, kelembaban. Selanjutnya, diatur atau diposisikan detektor *Marcus* di *water phantom* dengan nilai kedalaman referensi (Z_{ref}) 2,7 cm. Kemudian, dipasang aplikator dengan blok (timbal atau *cerrobend*) dan tanpa blok. Selanjutnya,

dilakukan pengambilan data dengan melakukan pengukuran di tiga tegangan yang berbeda (+300, +100, -300) Volt. Kemudian, data pengukuran dihitung berdasarkan panduan perhitungan dalam TRS 398 untuk detektor dan memproses hasil dosis serap (cGy).



Gambar 2. Diagram Alir Pengukuran dan Perhitungan Berkas Elektron

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran dalam keluaran berkas elektron menggunakan blok dengan dua jenis bahan blok yang berbeda, yaitu berbahan *cerrobend* dan timbal. Setiap blok mempunyai karakteristik yang berbeda, dan memiliki kelebihan dan kekurangan pada setiap bahannya. Pada blok timbal memiliki kelebihan dengan masa penyimpanan dengan jangka yang lama, dan tidak mudah rusak karna memiliki titik lebur yang tinggi. Adapun kekurangan yang dimiliki pada timbal, yakni sulit dibentuk untuk menyesuaikan bentuk kanker. Pada blok *cerrobend* memiliki kelebihan dalam penggunaannya yang seperti mudah dileburkan, sehingga dapat disesuaikan dengan bentuk kanker dan memiliki harga yang murah. Kekurangannya pada blok *cerrobend* berupa masa penyimpanan yang pendek, dikarenakan sisa leburannya tidak dapat disatukan kembali akibat terjatuh dan kotoran yang menempel dan mudah rusak apabila terjatuh.

Pengukuran nilai elektrometer digunakan untuk perhitungan terhadap faktor koreksi pada efek polaritas (K_{pol}) dan faktor koreksi rekombinasi ion (K_s), yang mana dalam pengukuran tersebut memerlukan nilai terhadap faktor koreksi temperatur dan tekanan (K_{TP}), serta terhadap nilai rata-rata pada elektrometer, yang didapat dari menjumlahkan nilai muatan dalam pengukuran keluaran berkas elektron dengan menggunakan nilai energi sebesar 12 MeV yang ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil dari nilai rata-rata yang didapat dengan menjumlahkan nilai muatan yang dihasilkan pada tegangan dari V_{+300}, V_{+100}, dan V_{-300}, nilai muatan tersebut dihasilkan dari pengukuran dengan tiga nilai yang diambil dari tiga kali pengukuran pada elektrometer untuk mendapatkan nilai rata-ratanya. Perhitungan faktor koreksi polaritas menggunakan nilai rata-rata elektrometer dalam tegangan V_{+300} (M_{+300}) dan V_{-300} (M_{-300}), sedangkan perhitungan nilai faktor koreksi rekombinasi ion menggunakan nilai rata-rata

elektrometer dalam tegangan V_{+300} (M_1), V_{+100} (M_2), dan dengan menggunakan nilai konstanta a, yang terbentuk dari tegangan normal, yaitu V_1 (V_{+300})/ V_2 (V_{+100}).

Proses perhitungan faktor koreksi bergantung pada tekanan dan temperatur (K_{TP}) bertujuan untuk memperbaiki respon ruang ionisasi, mengetahui pengaruh perbedaan yang mungkin ada antara suhu referensi standar dan tekanan yang ditentukan oleh laboratorium standar, serta suhu dan tekanan ruang di fasilitas penggunaan di bawah kondisi lingkungan yang berbeda. Faktor koreksi polaritas (K_{pol}) berguna untuk memperbaiki respons ruang ionisasi, khususnya efek perubahan polaritas tegangan polaritas yang diterapkan pada ruang.

Hasil perhitungan pada faktor koreksi untuk menentukan keluaran berkas elektron pada kedalaman referensi (Z_{ref}) menggunakan nilai R_{50}untuk nilai faktor koreksi kualitas berkas elektron (K_{Q,Q_0}). Nilai perhitungan dari parameter ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, nilai faktor koreksi pada temperatur dan tekanan (K_{TP}) pada ketiga pengukuran blok tersebut memperoleh nilai yang sama besar, yakni 0,995. Hal tersebut dapat terjadi apabila nilai temperatur suhu dan tekanan udara pada ruangan memiliki nilai yang konstan. Perhitungan ini memperoleh hasil dari masing-masing pengukuran menggunakan blok berbahan *cerrobend* dan timbal, dan pengukuran tanpa menggunakan blok.

Tabel 1 Pengukuran dan Perhitungan pada Berkas Elektron

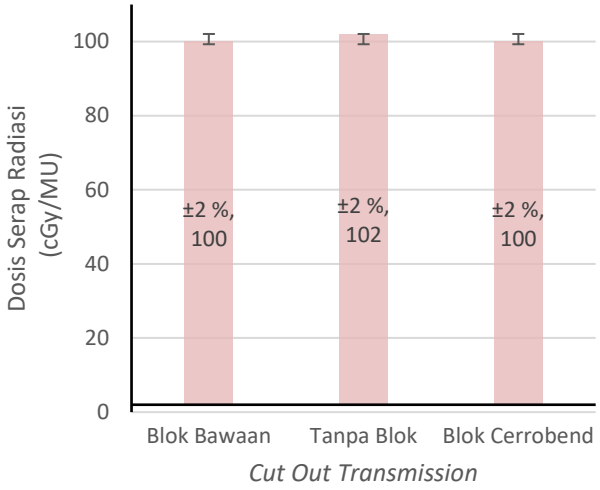
Cut Out Transmission (10x10 cm²)	Tekanan (kPa)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Data Muatan Elektrometer (nC)		
				V_{+300}	V_{+100}	V_{-300}
Blok Bawaan (timbal)				0,741	0,738	-0,745
Tanpa Blok	101,9	20,2	53	0,755	0,752	-0,761
Blok *Cerrobend*				0,742	0,738	-0,743

Tabel 2 Nilai Parameter Faktor Koreksi

Parameter	*Cut Out Transmission*		
	Blok Bawaan	Tanpa Blok	Blok *Cerrobend*
K_{TP}	0,995	0,995	0,995
K_{pol}	1,00269	1,00397	1,00067
K_s	1,00192	1,00187	1,00239
K_{elec}	1,00	1,00	1,00
h_{Pl}	1,00	1,00	1,00
R_{50}(g/cm²)	4.59	4,59	4,59
$K_{Q,Q0}$	1,00269	0,907	0,907
$PDDZ_{ref}$ (%)	99,70	99,70	99,70

Tabel 3 Nilai Deviasi antara Dosis Radiasi pada *Water Phantom* dan Dosis MU

Cut Out Transmission	$D_{w,Q}(Z_{ref})$ (mGy/nC)	$D_{w,Q}(Z_{max})$ (Gy/MU)	Deviasi (%)	TRS 398
Blok Bawaan	0,00999	100	0	
Tanpa Blok	0,01018	102	2	±2%
Blok *Cerrobend*	0,01004	100	**0**	



Gambar 3 Grafik Perbandingan Dosis Serap Radiasi terhadap Jenis Blok

Hasil pembacaan muatan memberi nilai yang berbeda melalui detektor ke dalam masing-masing pengukuran pada setiap menggunakan blok. Nilai faktor kalibrasi (K_{elec}) dan nilai faktor skala *fluence* (h_{Pl}) bernilai 1, yang artinya elektrometer dikalibrasi bersamaan dengan detektor ionisasi dan pengukurannya menggunakan *water phantom*.

PDD bergantung pada energi, jarak sumber ke permukaan, kedalaman, dan lapangan radiasi. Semakin tinggi energi suatu sinar yang digunakan, maka semakin dalam pula daya penetrasinya, dan hal tersebut juga dipengaruhi oleh radiasi hambur, yaitu semakin tinggi energi yang digunakan, maka sedikit radiasi hambur yang akan terjadi (Ramona *et al*., 2020). Nilai PDD yang digunakan didapat dari RSUD Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda di Instalasi Radioterapi yang telah dilakukan perhitungan oleh fisikawan medik.

Hasil dari perhitungan nilai keluaran berkas elektron yang telah terkoreksi, kemudian dilakukan proses perhitungan pada dosis serap untuk menghitung nilai dosis radiasi dalam kedalaman referensi ($D_{w,Q}(Z_{ref})$). Nilai faktor kalibrasi detektor ($N_{D,w,Q}$)dengan menggunakan detektor ionisasi *plane-parallel* Markus sebesar 1,488 mGy/nC. Terdapat perbedaan hasil antara menggunakan blok dan tanpa penggunaan blok pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 3, hal tersebut dapat dibandingkan dengan dosis yang akan diterima *water phantom*. Dosis radiasi yang dihasilkan oleh pengukuran tanpa menggunakan blok bernilai lebih besar daripada menggunakan blok yang sifatnya membatasi area sebaran radiasi. Semakin luas ukuran lapangan radiasi, maka semakin rendah dosis radiasi yang diterima, namun semakin banyak radiasi hambur yang terjadi (Ramona *et al*., 2020). Jika menggunakan ukuran lapangan yang lebih besar pada pengukuran tanpa menggunakan blok, maka radiasi hambur yang terjadi semakin besar karena tidak ada yang membatasi lapangan area tersebut. Namun, ini menjadi berbeda jika pengukuran dosisnya menggunakan blok.

Dosis radiasi pada *water phantom* diperoleh dari nilai pengolahan data, sedangkan pada dosis radiasi monitor unit (MU) merupakan nilai acuan dalam pengukuran. Dosis radiasi tersebut dibandingkan dan dilihat seberapa besar nilai penyimpangan melalui perhitungan deviasi. Apabila hasil dari nilai penyimpangan atau deviasi tersebut menunjukkan nilai yang negatif atau *underdose*, maka dosis radiasi pengukuran bernilai lebih kecil daripada dosis radiasi MU. Namun, jika hasil yang ditampilkan positif, maka dosis radiasi pengukuran lebih besar daripada dosis radiasi MU. Jika hasil yang diperoleh pada penyimpangan menunjukkan angka 0, maka dari dosis radiasi antara keduanya tidak terdapat penyimpangan.

Berhubung blok membatasi luas lapangan radiasi, penggunaan blok dalam penyinaran berpengaruh pada radiasi hambur. Radiasi hambur pada penelitian ini berasal dari hamburan kolimator dan bahan *phantom.* Besarnya radiasi hambur bergantung pada luas lapangan dan volume jaringan yang terkena radiasi.

Adapun besarnya nilai persentase deviasi antara dosis radiasi pada *water phantom* dan dosis serap radiasi dapat dilihat pada Tabel 3 Nilai tersebut diperoleh dari perhitungan pada Persamaan 9. Pada pengukuran tanpa menggunakan blok dengan nilai deviasi sebesar 2%, dosis pengukuran tersebut lebih besar dari pada dosis radiasi MU (Monitor Unit) yang merupakan nilai awal yang diberikan untuk mengukur keluaran berkas elektron pada *water phantom*, meskipun nilai deviasi tersebut masih dalam toleransi. Untuk pengukuran menggunakan blok, keduanya memiliki deviasi sebesar 0%, yang menunjukkan penggunaan blok bisa digunakan pada terapi klinis, dan pada lapangan radiasi persegi. Secara klinis, penggunaan blok untuk membatasi penyebaran radiasi hambur yang terjadi ketika pada saat melakukan terapi agar tidak terkena radiasi yang berlebih pada jaringan yang masih sehat. Pada saat penggunaan blok, radiasi yang keluar sebagian diserap oleh blok dan sebagian lainnya diberikan pada bagian yang ingin dimusnahkan pada kanker.

KESIMPULAN

Perbandingan pengukuran berkas keluaran elektron dalam variasi *cut out transsmission* (menggunakan blok timbal dan *cerrobend*, serta tanpa menggunakan blok) diperoleh bahwa hasil yang paling baik adalah pada pengunaan blok (timbal dan *cerobend*) yang memiliki kelebihan dan keuntungan berupa mudah mengeras ketika berada di suhu ruang. Blok yang mudah dibentuk adalah blok *cerrobend*. Blok yang memiliki daya simpan yang panjang dan tidak mudah rusak ialah blok timbal. Kedua blok tersebut menghasilkan nilai berkas keluaran sebesar 100 cGy dengan deviasi 0%. Sementara itu, nilai berkas keluaran tanpa penggunaan blok adalah 102 cGy dengan deviasi 2%. Hasil ketiga pengukuran tersebut masih dalam standar batas toleransi TRS IAEA 398, yaitu ±2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman Samarinda, Kalimantan Timur dan Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Umum Daerah Abdoel Wahab Sjahranie Samarinda yang telah membantu para dalam pengerjaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

E.B. Podgorsak. (2005). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*.

Fitriatuzzakiyyah, N., Sinuraya, R. K., Departemen Farmakologi dan Farmasi Klinik, Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia, Puspitasari, I. M., & Departemen Farmakologi dan Farmasi Klinik, Fakultas Farmasi, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia. (2017). Cancer Therapy with Radiation: The Basic Concept of Radiotherapy and Its Development in Indonesia. *Indonesian Journal of Clinical Pharmacy*, *6*(4), 311–320. https://doi.org/10.15416/ijcp.2017.6.4.311

Gusnita, D. (2012). *Pencemaran Logam Berat Timbal (Pb) Di Udara Dan Upaya Penghapusan Bensin Bertimbal*. *13*(3).

Heru, N. S., Saraswati, A., Tarigan, A., & Irsal, M. (2017). *Verifikasi Nilai Dosis Terhadap Variasi Lapangan Blok Elektron Pada Energi 6 Mev Dan 9 Mev Pesawat Linac Varian (CLINAC IX - SN4740)*.

IAEA. (2000). *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy* (Rev. 1). International Atomic Energy Agency. https://doi.org/10.61092/iaea.ve7q-y94k

Indriyana, L. I., Hidayanto, E., & Arifin, Z. (2014). *Analisis Dosis Serap Relatif Berkas Elektron Dengan Variasi Ketebalan Blok Cerrobend Pada Pesawat Linear Accelerator*. *3*(3).

Khan, F. M. (2003). *The physics of radiation therapy* (3rd ed). Lippincott Williams & Wilkins.

Mather, S. J., & Mansi, L. (2008). IAEA Technical Report Series. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, *35*(5), 1030–1031. https://doi.org/10.1007/s00259-008-0767-4

Mayles, P., Nahum, A. E., & Rosenwald, J.-C. (Eds.). (2007). *Handbook of radiotherapy physics: Theory and practice*. Taylor & Francis.

Puspitasari, R. A. (2020). Analisis Kualitas Berkas Radiasi LINAC Untuk Effektivitas Radioterapi. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, *22*(1), 11. https://doi.org/10.20473/jbp.v22i1.2020.11-19

Ramona, F., Milvita, D., & Diyona, F. (2020). Verifikasi Nilai Dosis Radiasi Berkas Elektron Pesawat LINAC dengan Luas Lapangan Blok Cerrobend (6×6) cm2 dan (8×8) cm2 Berdasarkan Protokol IAEA TRS 398. *Jurnal Fisika Unand*, *9*(2), 238–243. https://doi.org/10.25077/jfu.9.2.238-243.2020

Santoso, H., Hamdi, M., & Saktioto, S. (2020). Analisis Kualitas Data Keluaran Harian Elektron Akselerator Linier. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *17*(3), 166. https://doi.org/10.31258/jkfi.17.3.166-171

Septiyanti, I., Khalif, M. A., & Anwar, E. D. (2020). Analisis Dosis Paparan Radiasi Pada General X-Ray II Di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Muhammadiyah Semarang. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, *6*(2), 96–102. https://doi.org/10.31983/jimed.v6i2.5858

Setiawan, H. (2016). *Analisis Dosis Keluaran Berkas Foton dan Elektron Energi Tinggi Pesawat Linac Elekta Precise 5991 Berdasarkan Code of Practice IAEA TRS 398*.

Setiawati, E., Ariyanty, E. D., Ramantisan, S., Hidayatullah, M., & Margiantono, A. (2018). *Analysis of Size and Location of Irradiation Block of Electron Linear Accelerator to Radiation Output and Absorbed Dose*. *2*(11).

Suharmono, B. H., Anggraini, I. Y., Hilmaniyya, H., & Astuti, S. D. (2020). Quality Assurance (QA) Dan Quality Control (QC) Pada Instrumen Radioterapi Pesawat LINAC. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, *22*(2), 73. https://doi.org/10.20473/jbp.v22i2.2020.73-80

Winarno, Veren Audia Nurmansya, & Zakiyatul Miskiyah. (2021). *Radioterapi Kanker Cervix Dengan Linear Accelerator (Linac)*.