

Optimasi Penggunaan Bolus Berbahan Thermoplastic Elastomer Terhadap Distribusi Dosis Serap Radiasi Elektron pada Pesawat Linac di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah

Topan Krisna Aditya^{1*}, Ni Kadek Kartika Kusuma², Nyoman Indah Sukmasari³, Rozi Irhas⁴

^{1,2,3} Sarjana Terapan Teknologi Radiologi Pencitraan, ATRO Bali, Denpasar, Indonesia.

⁴ RSUP Prof.Dr.I.G.N.G Ngoerah, Denpasar, Indonesia.

Received: 12 June 2026

Revised: 20 July 2026

Accepted: 28 August 2026

Corresponding Author:

Topan Krisna Aditya

topankrisnaaditya@gmail.com

© 2026 Kappa Journal is licensed under
a Creative Commons Attribution-
NonCommercial-ShareAlike 4.0
International License



DOI:

<https://doi.org/10.29408/kpj.v10i2.35461>

Abstract: Electron beam radiotherapy is widely used for superficial lesion treatment; however, surface dose distribution can be modified by the application of bolus material. This study aimed to evaluate the effect of a thermoplastic elastomer (TPE) bolus on absorbed dose at specific measurement depths for electron beam energies and to assess its feasibility as an alternative bolus material. An experimental phantom-based study was conducted using a slab phantom with five repeated measurements per condition. Electron beam energies of 4, 6, 8, and 10 MeV were evaluated under open field (without bolus) and with 1 cm TPE bolus conditions. Absorbed dose was calculated according to the IAEA TRS-398 protocol. The mean absorbed dose without bolus was 2.0486 ± 0.0019 Gy (4 MeV), 2.0199 ± 0.0019 Gy (6 MeV), 2.0636 ± 0.0007 Gy (8 MeV), and 2.0440 ± 0.0011 Gy (10 MeV). With TPE bolus application, the absorbed dose changed to 1.3012 ± 0.0024 Gy, 1.8396 ± 0.0074 Gy, 1.8835 ± 0.0013 Gy, and 2.0248 ± 0.0013 Gy, respectively. Coefficient of variation for all measurements was below 0.5%, indicating high reproducibility. Wilcoxon signed-rank test demonstrated significant differences between open and bolus conditions at all energies ($Z \approx -2.03$; $p < 0.05$). The findings indicate that thermoplastic elastomer bolus significantly modifies electron beam absorbed dose, with greater absorbed dose reduction observed at lower energies. TPE demonstrates stable dosimetric performance.

Keywords: thermoplastic elastomer bolus; electron beam radiotherapy; absorbed dose; phantom study; linear accelerator

Pendahuluan

Radioterapi merupakan salah satu modalitas utama dalam penatalaksanaan kanker, khususnya pada lesi superfisial yang memerlukan ketepatan dosis pada lapisan jaringan dangkal. Pada radioterapi menggunakan berkas elektron dari pesawat linear accelerator (LINAC), karakteristik fisika radiasi memungkinkan pemberian dosis tinggi pada kedalaman tertentu dengan penurunan dosis yang cepat pada jaringan yang lebih dalam. Karakteristik ini menjadikan berkas elektron banyak digunakan untuk terapi lesi superfisial, namun distribusi dosis pada permukaan dan kedalaman dangkal tetap menjadi aspek penting yang perlu dikendalikan secara optimal.

Penggunaan bolus merupakan metode yang umum diterapkan dalam radioterapi berkas elektron

untuk memodifikasi distribusi dosis dan menyesuaikan kedalaman dosis maksimum sesuai dengan lokasi target. Bolus berfungsi sebagai material ekuivalen jaringan yang ditempatkan di atas permukaan kulit atau phantom, sehingga dapat meningkatkan dosis serap pada permukaan serta memengaruhi karakteristik penetrasi berkas elektron. Berbagai penelitian sebelumnya telah banyak mengevaluasi penggunaan bolus pada radioterapi elektron, terutama terkait peningkatan dosis permukaan, pergeseran kedalaman dosis maksimum, serta kesesuaian material bolus terhadap jaringan lunak.

Dalam praktik klinis, bolus berbahan silikon merupakan salah satu material yang umum digunakan karena memiliki sifat dosimetri yang relatif stabil dan mendekati jaringan lunak. Di Instalasi Radioterapi

How to Cite:

Aditya, T.K., Kusuma, N.K.K., Sukmasari, N.I., & Irhas, R. (2026). Optimasi Penggunaan Bolus Berbahan Thermoplastic Elastomer Terhadap Distribusi Dosis Serap Radiasi Elektron pada Pesawat Linac di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G Ngoerah. *Kappa Journal*, 10(2), 136-142. <https://doi.org/10.29408/kpj.v10i2.35461>

RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah, saat ini hanya tersedia satu buah bolus berbahan silikon, yang merupakan hasil penelitian salah satu radiografer. Keterbatasan jumlah tersebut menjadi kendala operasional ketika terdapat lebih dari satu pasien yang membutuhkan penggunaan bolus pada waktu yang berdekatan atau bersamaan, karena bolus yang tersedia harus digunakan secara bergantian dan berpotensi menghambat kelancaran pelayanan radioterapi. Di sisi lain, pengadaan material dalam jumlah terbatas juga menghadapi kendala tersendiri, sehingga penambahan bolus silikon melalui pengadaan rutin tidak mudah dilakukan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya alternatif material bolus yang lebih mudah disediakan dan dapat digunakan secara berulang dalam pelayanan, dengan tetap mempertimbangkan kesesuaian karakteristik fisika dan dosimetri.

Thermoplastic elastomer (TPE) merupakan material polimer yang memiliki sifat elastis, fleksibel, dan mudah dibentuk, sehingga berpotensi digunakan sebagai material bolus radioterapi. Sifat elastisitas TPE memungkinkan material ini menyesuaikan kontur permukaan dengan baik dan berpotensi mengurangi celah udara antara bolus dan permukaan target. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa material elastomer dan turunannya memiliki karakteristik dosimetri yang mendekati jaringan lunak dan mampu meningkatkan dosis permukaan. Namun demikian, kajian yang secara khusus mengevaluasi penggunaan bolus berbahan thermoplastic elastomer pada berbagai energi berkas elektron dalam satu desain penelitian eksperimental yang terkontrol masih relatif terbatas.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, diperlukan penelitian berbasis phantom untuk mengevaluasi karakteristik dosimetri bolus thermoplastic elastomer pada radioterapi berkas elektron. Evaluasi dosis serap pada beberapa energi berkas elektron penting dilakukan untuk memahami efektivitas bolus TPE dalam memodifikasi distribusi dosis dan memastikan kesesuaiannya sebagai material bolus alternatif dalam praktik radioterapi elektron.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan bolus berbahan thermoplastic elastomer terhadap distribusi dosis serap pada radioterapi menggunakan berkas elektron dengan energi 4, 6, 8, dan 10 MeV. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah mengenai potensi bolus TPE sebagai alternatif bolus silikon yang lebih efisien dan aplikatif, serta mendukung pengembangan praktik radioterapi elektron yang efektif dan berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental kuantitatif berbasis phantom yang bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan bolus berbahan thermoplastic elastomer terhadap distribusi dosis serap pada radioterapi berkas elektron menggunakan *slab phantom* sebagai subjek penelitian sehingga tidak memerlukan intervensi klinis. Penelitian ini telah memperoleh pembebasan etik dari Komisi Etik Penelitian Fakultas Kedokteran Universitas Udayana dengan nomor Ethical Exemption 0661/UN14.2.2.VII.14/LT/2026 dan Nomor Protokol 2026.01.2.0287, tertanggal 13 Februari 2026. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Radioterapi RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah menggunakan pesawat linear accelerator (LINAC) pada bulan Februari tahun 2026.

Objek penelitian berupa bolus thermoplastic elastomer dengan ketebalan 1 cm dan ukuran 10×10 cm. Media pengukuran menggunakan *slab phantom* yang bersifat ekuivalen jaringan untuk mensimulasikan kondisi jaringan manusia secara terkontrol. Phantom diposisikan pada meja perawatan LINAC dengan pengaturan geometri penyinaran standar, dan ukuran lapangan radiasi ditetapkan sebesar 10×10 cm untuk seluruh pengukuran.

Penyinaran dilakukan menggunakan berkas elektron dengan energi 4, 6, 8, dan 10 MeV. Untuk setiap energi, pengukuran dilakukan pada dua kondisi, yaitu tanpa penggunaan bolus dan dengan penggunaan bolus thermoplastic elastomer yang diletakkan di atas permukaan phantom. Seluruh parameter penyinaran lainnya dijaga tetap konstan untuk memastikan bahwa perbedaan dosis yang terukur hanya dipengaruhi oleh penggunaan bolus.

Pengukuran dosis serap dilakukan menggunakan sistem kamar ionisasi Sun Nuclear, dengan elektrometer tipe SNC 350 yang digunakan untuk pengukuran berkas elektron. detektor ditempatkan pada kedalaman pengukuran yang disesuaikan dengan posisi dosis maksimum (d_{max}) masing-masing energi elektron. Untuk memastikan kestabilan koleksi muatan dan validitas pengukuran, pengambilan data dilakukan dengan variasi tegangan bias elektrometer. Nilai muatan listrik yang diperoleh selanjutnya dilakukan proses konversi menjadi dosis serap.

Data hasil pengukuran berupa muatan listrik dikonversi menjadi dosis serap menggunakan worksheet berdasarkan protokol IAEA TRS-398 (*Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*). Nilai muatan listrik terlebih dahulu dikoreksi terhadap faktor suhu dan tekanan, koreksi polaritas, serta koreksi rekombinasi ion untuk memperoleh muatan terkoreksi. Perhitungan dosis serap kemudian dilakukan dengan menggunakan faktor kalibrasi kamar ionisasi terhadap dosis serap di air serta

faktor koreksi kualitas berkas elektron sesuai dengan energi yang digunakan. Seluruh tahapan konversi dan perhitungan dosis serap dilakukan secara sistematis mengikuti worksheet IAEA TRS-398 untuk menjamin akurasi dan ketertelusuran hasil dosimetri.

Analisis data dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan nilai dosis serap antara kondisi dengan dan tanpa penggunaan bolus thermoplastic elastomer pada setiap energi berkas elektron. Efektivitas modifikasi distribusi dosis serap dievaluasi berdasarkan perubahan nilai dosis serap yang terukur akibat penggunaan bolus.

Hasil dan Pembahasan

Distribusi Dosis Serap Tanpa dan Dengan Bolus TPE

Berdasarkan hasil pengukuran dosis serap berkas elektron pada energi 4, 6, 8, dan 10 MeV dengan lima kali pengulangan pada setiap kondisi, diperoleh nilai rata-rata dan simpangan baku sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Pada kondisi tanpa bolus, dosis serap relatif stabil pada seluruh energi dengan nilai masing-masing sebesar $2,0486 \pm 0,0019$ Gy (4 MeV), $2,0199 \pm 0,0019$ Gy (6 MeV), $2,0636 \pm 0,0007$ Gy (8 MeV), dan $2,0440 \pm 0,0011$ Gy (10 MeV). Nilai koefisien variasi (CV) pada seluruh energi tanpa bolus berada di bawah 0,1%, menunjukkan tingkat kestabilan dan repeatability pengukuran yang sangat baik.

Pada kondisi dengan penggunaan bolus thermoplastic elastomer (TPE), dosis serap mengalami perubahan yang bervariasi tergantung energi. Pada energi 4 MeV, dosis serap menurun menjadi $1,3012 \pm 0,0024$ Gy (CV 0,18%). Pada 6 MeV, nilai rata-rata menjadi $1,8396 \pm 0,0074$ Gy dengan CV sebesar 0,40%, yang merupakan variasi tertinggi di antara seluruh pengukuran, namun masih berada dalam batas kestabilan dosimetri klinis. Pada energi 8 MeV dan 10 MeV, dosis serap masing-masing sebesar $1,8835 \pm 0,0013$ Gy (CV 0,07%) dan $2,0248 \pm 0,0013$ Gy (CV 0,06%), hal ini menunjukkan konsistensi pengukuran yang baik.

Secara umum, nilai CV seluruh pengukuran berada di bawah 0,5%, yang menunjukkan bahwa prosedur pengukuran memiliki presisi yang tinggi dan sistem pengukuran dalam kondisi stabil. Perubahan dosis serap yang paling besar terjadi pada energi rendah (4 MeV), sedangkan pada energi lebih tinggi perbedaan antara kondisi tanpa bolus dan dengan bolus cenderung lebih kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa respons dosimetri bolus TPE terhadap berkas elektron dipengaruhi oleh variasi energi radiasi, dengan efek yang lebih nyata pada energi rendah.

Hasil Uji Statistik Perbedaan Dosis Serap

Analisis perbedaan dosis serap antara kondisi tanpa bolus dan dengan bolus thermoplastic elastomer

dilakukan menggunakan uji Wilcoxon Signed-Rank menggunakan metode exact p-value karena ukuran sampel yang kecil dan sebagian data tidak berdistribusi normal. Hasil uji menunjukkan bahwa pada seluruh energi elektron (4, 6, 8, dan 10 MeV) terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara kedua kondisi ($p < 0,05$). Pada energi 4 MeV diperoleh nilai $Z = -2,032$ ($p = 0,042$), pada 6 MeV $Z = -2,023$ ($p = 0,043$), pada 8 MeV $Z = -2,032$ ($p = 0,042$), dan pada 10 MeV $Z = -2,032$ ($p = 0,042$).

Seluruh pengukuran menunjukkan negative ranks ($n = 5$) tanpa adanya positive ranks maupun ties, yang mengindikasikan bahwa dosis serap dengan bolus secara konsisten lebih rendah dibandingkan tanpa bolus pada seluruh pengulangan. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan bolus TPE memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi dosis serap pada seluruh variasi energi elektron yang diuji.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran dan analisis statistik menunjukkan bahwa penggunaan bolus thermoplastic elastomer secara konsisten memodifikasi dosis serap pada radioterapi berkas elektron di seluruh energi yang diuji.

Tabel 1. Distribusi Hasil dosis serap berkas elektron dengan dan tanpa penggunaan bolus thermoplastic elastomer

Energi Elektron (MeV)	Tanpa Bolus (Mean $\pm$ SD (CV%))	Dengan Bolus TPE (Mean $\pm$ SD (CV%))
4 MeV	2.0486 ± 0.0019 (0.09%)	1.3012 ± 0.0024 (0.18%)
6 MeV	2.0199 ± 0.0019 (0.09%)	1.8396 ± 0.0074 (0.40%)
8 MeV	2.0636 ± 0.0007 (0.04%)	1.8835 ± 0.0013 (0.07%)
10 MeV	2.0440 ± 0.0011 (0.05%)	2.0248 ± 0.0013 (0.06%)

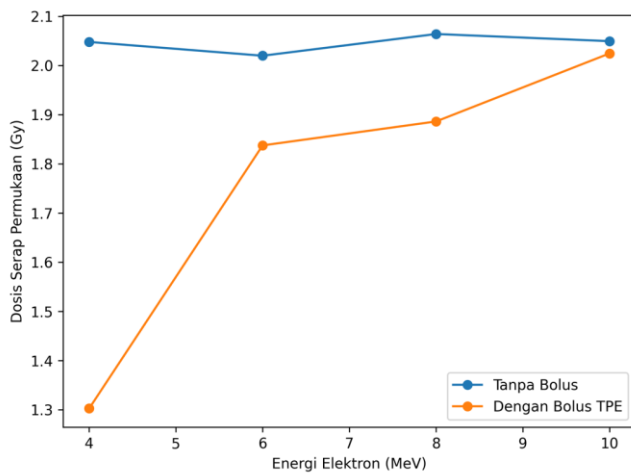
Nilai yang ditampilkan merupakan rerata dosis serap hasil pengukuran berbasis phantom menggunakan berkas elektron pada energi 4, 6, 8, dan 10 MeV.

Tabel 2. Hasil uji statistik perbedaan dosis serap

Energi	Z	p-value (2-tailed)	Kesimpulan
4 MeV	-2.032	0.042	Signifikan
6 MeV	-2.023	0.043	Signifikan
8 MeV	-2.032	0.042	Signifikan
10 MeV	-2.032	0.042	Signifikan

Hasil uji Wilcoxon Signed Rank menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kondisi tanpa bolus dan dengan bolus thermoplastic elastomer (TPE) pada seluruh energi elektron yang diuji ($p < 0,05$). Seluruh data menunjukkan negative ranks (n

= 5), yang mengindikasikan bahwa nilai dosis serap dengan bolus secara konsisten lebih rendah dibandingkan tanpa bolus pada setiap pengukuran.



Gambar 1. Distribusi Hasil dosis serap berkas elektron dengan dan tanpa penggunaan bolus thermoplastic elastomer

Grafik perubahan dosis serap memperlihatkan pengaruh penggunaan bolus thermoplastic elastomer terhadap distribusi dosis pada berkas elektron berbagai energi. Pada energi rendah, khususnya 4 MeV, penggunaan bolus TPE menyebabkan perubahan dosis serap yang paling signifikan. Hal ini berkaitan dengan interaksi berkas elektron berenergi rendah yang lebih sensitif terhadap penambahan material di permukaan, sehingga energi efektif berkas berkurang sebelum mencapai detektor.

Pada energi menengah hingga tinggi (6–10 MeV), perbedaan dosis serap antara kondisi dengan dan tanpa bolus masih teramati, namun dengan magnitudo yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi energi elektron, semakin besar daya tembus berkas, sehingga efek pengurangan energi akibat bolus menjadi relatif lebih kecil. Hal tersebut konsisten dengan karakteristik fisika berkas elektron dan fungsi bolus dalam memodifikasi daerah build-up dan kedalaman dosis maksimum.

Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan bahwa bolus TPE mampu memodifikasi dosis serap secara konsisten pada seluruh energi yang diuji, dengan efektivitas yang paling nyata pada energi elektron rendah hingga menengah.

Pengaruh Bolus Thermoplastic Elastomer terhadap Dosis Serap

Perlu diperhatikan bahwa pengukuran dosis serap dalam penelitian ini tidak dilakukan pada permukaan (surface), melainkan pada kedalaman

tertentu yang disesuaikan dengan titik dosis maksimum (d_{max}) masing-masing energi berkas elektron. Pada energi 4 MeV, pengukuran dilakukan pada kedalaman 1 cm, pada 6 MeV di 1,3 cm, pada 8 MeV di 1,8 cm, dan pada 10 MeV di 2 cm. Penentuan kedalaman ini didasarkan pada hasil pengukuran dosis relatif rutin yang dilakukan secara berkala di instalasi radioterapi untuk memastikan posisi dosis maksimum pada setiap energi.

Pendekatan ini digunakan dengan tujuan memperoleh dosis acuan sebesar 2 Gy pada kondisi tanpa bolus (open field), sehingga memudahkan proses perbandingan terhadap kondisi dengan penggunaan bolus TPE. Dengan demikian, hasil pengukuran yang diperoleh merepresentasikan perubahan dosis pada kedalaman tertentu (depth dose), bukan dosis permukaan secara langsung.

Penurunan nilai dosis serap yang teramati pada kondisi dengan bolus TPE menunjukkan adanya degradasi energi berkas elektron sebelum mencapai titik pengukuran. Hal ini disebabkan oleh interaksi berkas elektron dengan material bolus yang menyebabkan kehilangan energi (energy attenuation) sehingga energi yang diterima detektor pada kedalaman d_{max} menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa bolus. Temuan ini menegaskan bahwa penggunaan bolus TPE dalam konfigurasi pengukuran ini berperan dalam memodifikasi distribusi dosis, khususnya dengan menggeser karakteristik kedalaman dosis maksimum serta memengaruhi profil penetrasi berkas elektron.

Penggunaan bolus thermoplastic elastomer (TPE) dalam penelitian ini menunjukkan adanya penurunan nilai dosis serap yang diterima oleh detektor pada seluruh energi berkas elektron yang diteliti. Penurunan ini terjadi karena pengukuran dilakukan pada kedalaman tertentu yang mendekati dosis maksimum (d_{max}) pada kondisi tanpa bolus, sehingga penambahan bolus menyebabkan perubahan distribusi energi berkas sebelum mencapai titik pengukuran.

Secara fisika, bolus berfungsi sebagai material ekuivalen jaringan yang ditempatkan di permukaan untuk menggeser daerah build up ke arah yang lebih dangkal. Namun, dalam kondisi penelitian ini, keberadaan bolus justru menyebabkan berkas elektron mengalami kehilangan energi (energy degradation) sebelum mencapai detektor. Akibatnya, energi yang diterima detektor menjadi lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa bolus, sehingga nilai dosis serap yang terukur mengalami penurunan. Fenomena ini sesuai dengan prinsip dosimetri radioterapi di mana distribusi dosis sangat bergantung pada kedalaman dan energi awal berkas elektron (IAEA, 2000).

Hasil ini menunjukkan bahwa efek bolus terhadap distribusi dosis tidak selalu berupa peningkatan dosis pada semua titik, melainkan bergantung pada posisi

pengukuran terhadap kurva kedalaman dosis. Pada penelitian ini, karena detektor ditempatkan pada kedalaman dosis maksimum tanpa bolus, maka penambahan bolus mengubah kondisi transport elektron dan posisi kurva depth dose, karena titik deteksi dipertahankan pada kedalaman tertentu yang ditentukan dari kondisi open field, titik tersebut tidak lagi identik dengan d_{max} setelah bolus dipasang.

Temuan ini tetap konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bolus mampu memodifikasi distribusi dosis radiasi. Gong et al. (2022) melaporkan bahwa bolus thermoplastic elastomer meningkatkan dosis pada permukaan, namun tidak menutup kemungkinan terjadinya penurunan dosis pada kedalaman tertentu akibat perubahan spektrum energi berkas. Selain itu, Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa material elastomer memiliki sifat interaksi radiasi yang mendekati jaringan lunak, sehingga berperan dalam mengubah distribusi energi berkas secara signifikan.

Lebih lanjut, Li et al. (2025) dalam systematic review menyatakan bahwa penggunaan bolus harus mempertimbangkan posisi target dan kedalaman jaringan, karena efeknya terhadap distribusi dosis bersifat kontekstual. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana penggunaan bolus TPE menyebabkan penurunan dosis pada titik pengukuran akibat pergeseran distribusi energi berkas elektron.

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan bolus TPE tidak hanya menunjukkan indikasi pergeseran distribusi dosis ke arah permukaan, tetapi juga dapat menyebabkan penurunan dosis pada kedalaman tertentu, tergantung pada konfigurasi pengukuran. Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik distribusi dosis sangat penting dalam menentukan penggunaan bolus yang optimal dalam praktik radioterapi.

Fungsi bolus sebagai material ekuivalen jaringan dalam memodifikasi kondisi keseimbangan partikel bermuatan di daerah permukaan telah banyak dilaporkan dalam literatur dosimetri. Bolus memungkinkan pergeseran daerah build-up mendekati permukaan, sehingga distribusi dosis dapat disesuaikan dengan kebutuhan klinis pada target dangkal. Konsistensi perbedaan dosis serap yang teramati dalam penelitian ini menunjukkan bahwa bolus TPE mampu menjalankan fungsi tersebut secara stabil.

Hasil uji statistik yang menunjukkan perbedaan dosis serap yang signifikan antara kondisi dengan dan tanpa bolus pada seluruh energi berkas elektron memberikan konfirmasi kuantitatif terhadap temuan dosimetri ini. Meskipun penelitian berbasis phantom tidak bertujuan untuk inferensi populasi, hasil statistik tersebut memperkuat bahwa perubahan dosis serap yang diamati merupakan efek nyata dari penggunaan

bolus TPE, bukan variasi acak pengukuran (Aprilianti & Apriantoro, 2022).

Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Temuan penelitian ini sejalan dengan berbagai penelitian terdahulu yang melaporkan bahwa material bolus mampu memodifikasi dosis serap secara signifikan, baik pada berkas foton maupun elektron. Gong et al. (2022) melaporkan bahwa bolus berbahan TPE mampu menunjukkan indikasi pergeseran distribusi dosis ke arah permukaan secara efektif pada radioterapi pasca-mastektomi tanpa meningkatkan toksisitas kulit secara bermakna. Meskipun menggunakan berkas foton, mekanisme dasar modifikasi dosis permukaan akibat bolus memiliki kesesuaian dengan temuan penelitian ini pada berkas elektron.

Penelitian oleh Zhang et al. (2023) menunjukkan bahwa material thermoplastic polyurethane (TPU), yang merupakan turunan dari TPE, memiliki karakteristik dosimetri yang mendekati material ekuivalen jaringan standar seperti Solid Water. Hasil tersebut mendukung temuan penelitian ini bahwa bolus TPE mampu memberikan respon dosimetri yang stabil dan terprediksi pada berbagai energi berkas elektron.

Selain itu, studi systematic literature review oleh Li et al. (2025) menegaskan bahwa penggunaan bolus dalam radioterapi, khususnya pada kasus pasca-mastektomi, memiliki peran penting dalam memodifikasi distribusi dosis permukaan untuk memastikan cakupan dosis yang adekuat pada jaringan target superfisial. Studi tersebut juga menyoroti pentingnya pemilihan material bolus yang konformabel dan konsisten secara dosimetri, yang sejalan dengan hasil penelitian ini terkait karakteristik elastisitas dan kestabilan bolus thermoplastic elastomer.

Sebagai pembanding, bolus berbahan silikon elastomer telah lama digunakan dalam praktik radioterapi. Boopathi et al., (2023) melaporkan bahwa bolus berbahan polydimethylsiloxane (PDMS) menghasilkan distribusi dosis permukaan yang sesuai untuk radioterapi foton megavoltage. Studi oleh Jaya et al. (2020) juga menunjukkan bahwa penggunaan bolus silikon pada radioterapi berkas elektron mampu meningkatkan dan mengatur dosis permukaan secara signifikan. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya tidak membahas aspek efisiensi penggunaan dan keterbatasan ketersediaan bolus di fasilitas pelayanan kesehatan.

Beberapa penelitian nasional juga melaporkan penggunaan material bolus alternatif, seperti campuran beeswax dan petroleum jelly, yang mampu memodifikasi dosis serap secara efektif (Aprilianti & Apriantoro, 2022). Dibandingkan dengan material

tersebut, bolus TPE memiliki keunggulan dari sisi kestabilan mekanik dan kemudahan reproduksibilitas, sehingga lebih aplikatif untuk penggunaan klinis berulang.

Implikasi Klinis Penggunaan Bolus Thermoplastic Elastomer pada Radioterapi Berkas Elektron

Dalam praktik radioterapi berkas elektron, penggunaan bolus bertujuan untuk menyesuaikan kedalaman dosis maksimum dan memastikan cakupan dosis yang adekuat pada jaringan superfisial. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bolus TPE memberikan efek paling nyata pada energi elektron rendah hingga menengah, yang merupakan rentang energi klinis yang sering digunakan untuk terapi lesi kulit dan dinding dada (Jaya et al., 2020).

Sifat fisik bolus TPE yang elastis dan fleksibel memungkinkan material ini menyesuaikan kontur permukaan dengan baik. Konformitas yang baik berpotensi mengurangi celah udara antara bolus dan permukaan target, yang diketahui dapat menyebabkan penurunan dosis permukaan secara signifikan (Chen et al., 2022). Dengan demikian, bolus TPE dapat mendukung konsistensi distribusi dosis dalam kondisi klinis yang bervariasi.

Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa material TPE aman dan stabil digunakan dalam konteks radioterapi, baik sebagai bolus maupun sebagai perangkat pendukung fiksasi pasien (Gong et al., 2022; Chen et al., 2022). Hal ini memperkuat potensi penggunaan bolus TPE dalam praktik klinis dengan tetap memperhatikan prinsip kehati-hatian.

Potensi Implementasi Bolus Thermoplastic Elastomer di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah

Dalam konteks RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah, keterbatasan jumlah bolus silikon dan biaya pengadaan yang relatif tinggi dapat menjadi kendala operasional dalam pelayanan radioterapi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bolus TPE memiliki karakteristik dosimetri yang layak dan konsisten, sehingga berpotensi digunakan sebagai alternatif material bolus untuk mendukung efisiensi pelayanan (Boopathi et al., 2023).

Kemudahan fabrikasi dan fleksibilitas penggunaan bolus TPE memberikan keuntungan praktis dalam lingkungan rumah sakit rujukan dengan volume pasien yang tinggi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa material TPE dapat digunakan secara berulang tanpa menurunkan stabilitas dosimetri secara signifikan (Chen et al., 2022). Dengan pendekatan implementasi bertahap dan terkontrol, bolus TPE berpotensi menjadi solusi aplikatif yang mendukung keberlanjutan pelayanan radioterapi berkas elektron di RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bolus berbahan thermoplastic elastomer (TPE) memberikan pengaruh yang konsisten terhadap dosis serap pada radioterapi berkas elektron energi 4, 6, 8, dan 10 MeV. Hasil pengukuran berbasis phantom menunjukkan adanya perbedaan dosis serap antara kondisi tanpa bolus dan dengan bolus TPE pada seluruh energi yang diuji, dengan perubahan yang lebih nyata pada energi elektron rendah hingga menengah. Temuan ini menunjukkan bahwa keberadaan bolus TPE memengaruhi distribusi dosis serap berkas elektron, yang secara fisika berkaitan dengan perubahan kondisi build-up dan degradasi energi elektron setelah melewati material bolus. Berdasarkan hasil dosimetri tersebut, bolus TPE menunjukkan potensi untuk dikembangkan sebagai salah satu alternatif material bolus dalam radioterapi berkas elektron. Namun, penelitian ini belum melakukan perbandingan dosimetri secara langsung antara TPE dan bolus silikon serta belum mencakup pengujian pada pasien, sehingga belum dapat disimpulkan bahwa TPE memiliki efektivitas yang setara atau lebih baik dibandingkan bolus silikon maupun dinyatakan siap menggantikan penggunaannya dalam praktik klinis. Hasil penelitian ini dapat menjadi dasar awal untuk penelitian lanjutan yang membandingkan karakteristik dosimetri TPE dengan material bolus klinis yang telah digunakan. Dalam konteks RSUP Prof. Dr. I.G.N.G. Ngoerah, temuan ini memberikan informasi awal mengenai potensi penggunaan TPE sebagai material bolus alternatif di tengah keterbatasan ketersediaan bolus silikon. Pemanfaatannya dalam pelayanan klinis tetap memerlukan evaluasi lebih lanjut, meliputi perbandingan langsung dengan bolus silikon, pengujian karakteristik fisik dan dosimetri yang lebih komprehensif, serta validasi klinis. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi sebagai data awal dalam pengembangan material bolus alternatif yang berpotensi mendukung kontinuitas pelayanan radioterapi berkas elektron.

Daftar Pustaka

- Aprilianti, D., & Apriantoro, N. H., *Analisis dosis serap bolus berbahan campuran beeswax dan petroleum jelly dalam radioterapi menggunakan energi foton 6 MV*. Progressive Physics Journal. 2022.
- Boopathi, M., Khanna, D., Venkatraman, P., Varshini, R., Sureka, C. S., & Pooja, S., Fabrication and dosimetric characteristics of silicon elastomer-based bolus using external beam radiotherapy. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 24(1), 141-147, 2023. DOI: 10.31557/APJCP.2023.24.1.141

- Chen, C.-P., Lin, C.-Y., Kuo, C.-C., Chen, T.-H., Lin, S.-C., Tseng, K.-H., Cheng, H.-W., Chao, H.-L., Yen, S.-H., Lin, R.-Y., Feng, C.-J., Lu, L.-S., Chiou, J.-F., & Hsu, S.-M., Skin surface dose for whole breast radiotherapy using personalized breast holder: Comparison with various radiotherapy techniques and clinical experiences. *Cancers*, 14, 3205, 2022. DOI: 10.3390/cancers14133205
- Gong, P., Dai, G., Wu, X., Wang, X., Xie, L., Xu, S., & Zhong, R., Application of thermoplastic elastomer (TPE) bolus in postmastectomy radiotherapy. *The Breast*, 66, 2022. DOI: 10.1016/j.breast.2022.11.008
- IAEA, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water (TRS-398)*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2000.
- Jaya, G. W., Sutanto, H., Hidayanto, E., & Saraswati, G. P., Studi penggunaan bolus berbahan silicone rubber terhadap dosis permukaan pada radioterapi berkas elektron. *Progressive Physics Journal*, 1(1), 2020.
- Li, F., Hu, W., Li, H., Li, B., & Wang, Y., Bolus use in postmastectomy radiation therapy for breast cancer: A systematic literature review. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 24, 1–17, 2025.
- Pasiowan, H., Diartama, A. A. A., & Mughnie, B., Perbandingan penggunaan bolus dan tanpa bolus dalam radioterapi pascamastektomi pada kanker payudara. *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(2), 2024.
- Zhang, C., Lewin, W., Cullen, A., Thommen, D., & Hill, R., Evaluation of 3D-printed bolus for radiotherapy using megavoltage X-ray beams. *Radiological Physics and Technology*, 16, 414–421, 2023. DOI: 10.1007/s12194-023-00727-0