

Pabrikasi Bolus 3D berbahan *Polylactic Acid* untuk Terapi Radiasi pada Pasien Kanker Payudara

Annisa Yulindari¹, Sri Oktamuliani^{2*}, Harmadi³, Andra Pratama⁴ 

^{1,2,3} Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

⁴ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received September 20, 2022

Revised October 04, 2022

Accepted June 13, 2023

Available online July 25, 2023

Kata Kunci:

Bolus 3D, CT-Simulator, Kanker Payudara, *Polylactic Acid*, Printer 3D

Keywords:

3D Bolus, CT-Simulator, Breast Cancer, *Polylactic Acid*, 3D Printer



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Kanker payudara merupakan salah satu jenis kanker yang menempati urutan pertama sebagai penyumbang kematian akibat kanker di Indonesia. Pengobatan kanker payudara pada beberapa kasus belum mendapat dosis permukaan yang maksimal, sehingga dilakukan penelitian yang bertujuan untuk membuat bolus 3D setara dengan jaringan payudara manusia dan dapat meningkatkan dosis. Penelitian ini menggunakan *Polylactic Acid* (PLA) sebagai bahan utama pembuatan bolus. Bolus dicetak menggunakan printer 3D dengan variasi permukaan persentase material pengisi (*infill*) yaitu (20, 40, 60, 80, 100) %. Hasil pabrikasi bolus 3D dianalisis menggunakan metode analisis deskriptif berdasarkan hasil pengukuran nilai *Relative Electron Density* (RED) dan dosis serap menggunakan LINAC 15 MeV pada payudara manekin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bolus 3D berbahan PLA memberikan keseragaman dari segi ketebalan. Bolus dengan persentase *infill* 20% memiliki nilai RED yang paling mendekati RED payudara yaitu 0,99 dan mampu menyerap radiasi sebesar 1,98 Gy lebih optimal, jika dibandingkan dengan bolus komersial. Hal ini menunjukkan bahwa bolus 3D berbahan PLA dapat menjadi bolus alternatif saat pengobatan kanker payudara menggunakan radioterapi dengan elektron.

ABSTRACT

Breast cancer is a type of cancer that ranks first as a contributor to cancer deaths in Indonesia. The treatment of breast cancer in some cases has not yet received the maximum surface dose, so research is being carried out that aims to make a 3D bolus equivalent to human breast tissue and can increase the surface dose. This study used *Polylactic Acid* (PLA) as the main ingredient for making boluses. The bolus is printed using a 3D printer with variations in the percentage of *infill* material, namely (20, 40, 60, 80, 100) %. The results of the 3D bolus manufacturing were analyzed using a descriptive analysis method based on the results of measuring the *Relative Electron Density* (RED) value and absorbed dose using LINAC 15 MeV on the mannequin's breast. The results showed that 3D boluses made from PLA provided uniformity in terms of thickness. A bolus with an *infill* percentage of 20% has a RED value that is closest to the RED of the breast, namely 0.99 and is able to absorb radiation of 1.98 Gy more optimally when compared to a commercial bolus. This shows that 3D boluses made from PLA can be an alternative bolus when treating breast cancer using electron radiotherapy.

1. PENDAHULUAN

Kanker payudara merupakan salah satu jenis kanker yang menempati urutan pertama sebagai penyumbang kematian akibat kanker di Indonesia. Data *Global Burden Cancer* pada tahun 2020 menjelaskan bahwa jumlah kasus kanker payudara mencapai 68.858 kasus dari total 396.914 kasus kanker di Indonesia (Khan et al., 2013; Rumgay et al., 2021). Hal ini menyebabkan pengobatan kanker payudara menjadi suatu hal yang sangat penting dan mendesak untuk segera memperoleh perhatian intensif, agar dapat mengurangi risiko kematian dan meningkatkan kualitas hidup penderita kanker payudara. Beberapa upaya pengobatan kanker payudara yang telah dilakukan diantaranya menggunakan teknik pembedahan, kemoterapi, terapi penghambat hormon, dan radioterapi (Contents, 2012; Sutanto, Eko, Gede, Santi, & Suparman Suppa Astri, 2018; Zou et al., 2015). Radioterapi menjadi salah satu pengobatan yang banyak digunakan karena efektif mengurangi kanker bermetastasis pada payudara serta mengurangi risiko kekambuhan dengan memanfaatkan radiasi pengion (Aoyama et al., 2020; da Luz et al., 2022; Dyer et al., 2020). Radioterapi memiliki dua jenis teknik/cara pemberian radiasi ke pasien yaitu brakhiterapi dan teleterapi (Susworo, 2018; Tino, Yeo, Leary, Brandt, & Kron, 2019). Brakhiterapi menggunakan sumber radiasi yang berada dekat target kanker, sedangkan teleterapi sumber radiasinya berada jauh dari target kanker. Salah satu alat radioterapi dengan prinsip teleterapi adalah *Linear Accelerator* (LINAC). LINAC

*Corresponding author.

E-mail addresses: srioktamuliani@sci.unand.ac.id (Sri Oktamuliani)

memanfaatkan tegangan tinggi untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron berenergi tinggi melalui tabung linier. Elektron berenergi tinggi antara 6 MeV atau lebih yang digunakan pada LINAC dapat mematikan sel kanker di payudara (Diaz-Merchan, Martinez-Ovalle, & Vega-Carrillo, 2022; Khan et al., 2013; Ricotti et al., 2017).

Penyinaran pada radioterapi menggunakan LINAC akan menghasilkan berkas elektron dan foton yang bergantung pada letak dan posisi kanker. Namun pada beberapa kasus seperti pengobatan kanker yang berada pada permukaan kulit di payudara, dosis radiasi yang diterima belum memberikan dosis permukaan yang maksimal karena adanya efek *skin sparing*. Efek *skin sparing* merupakan kondisi dosis yang diterima permukaan kulit lebih rendah dibandingkan dosis pada kedalaman di bawah permukaan kulit. Hal ini karena penggunaan energi yang tinggi pada saat pengobatan dan penumpukan elektron di permukaan kulit. Maka diperlukan sebuah material yang mampu memberikan peningkatan dosis pada permukaan kulit yang disebut dengan bolus (Biltekin, Yazici, & Ozyigit, 2021; Gomez et al., 2021; Sutanto et al., 2018)

Bolus merupakan sebuah material yang memiliki densitas setara dengan jaringan tubuh manusia. Bolus mampu meningkatkan dosis permukaan, mengurangi dosis kedalaman dan meratakan jaringan yang tidak rata. Bolus diletakkan di atas permukaan kulit saat proses penyinaran menggunakan LINAC berlangsung. Bolus yang digunakan selama pengobatan menggunakan LINAC juga harus memiliki lapisan ketebalan yang seragam berkisar 0,5 cm sampai dengan 1,5 cm. Ketebalan bolus tersebut secara signifikan tidak mengubah bentuk kurva isodosis berdasarkan kedalaman (Podgorsak, 2019; Robar et al., 2018). Idealnya, dalam membuat bolus harus menggunakan bahan yang sesuai dengan jaringan (Sutanto dkk, 2018). Namun membuat bolus dengan bahan yang sesuai dengan jaringan tidak mudah, beberapa alternatif bahan yang telah digunakan dalam pembuatan bolus antara lain *parafin granules, elastogel pad, superflab, thermoplastic sheets, dental wax, polypropylene, plasticine, dan rayon cloth* (Koutsouvelis et al., 2020; Ricotti et al., 2017; Sutanto et al., 2018). Bentuk bolus sebagian besar berupa lembaran dengan luas lapangan dan ketebalan bolus yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan pada saat dilakukan proses radioterapi. Namun, masih ditemui beberapa masalah dengan bolus berbentuk lembaran ini. Bolus berbentuk lembaran tidak mampu menutupi secara sempurna bagian tubuh yang tidak rata seperti telinga, hidung, kulit kepala dan payudara. Hal ini mengakibatkan adanya celah antara bolus dengan permukaan kulit (Aras, Tanzer, & İkizceli, 2020; Chiu et al., 2018; McCallum, Maresse, & Fearn, 2021)

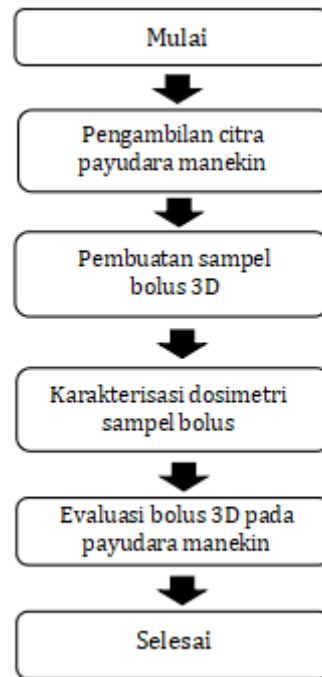
Celah yang terbentuk dapat mempengaruhi distribusi dosis pada volume target (PTV) dan memungkinkan organ sehat disekitar kanker mendapatkan dosis yang lebih tinggi juga menganalisis pengaruh celah udara pada bolus lembaran (Khan et al., 2013; Lobo D., Banerjee, S., Srinivas, C., Ravichandran, R., Putha, S.K., Saxena, P.P., Reddy, S., dan Sunny, 2021; Madamesila, McGeachy, Barajas, & Khan, 2016). Hasil analisisnya menunjukkan bahwa dosis permukaan mengalami penurunan mulai dari 14,8% menjadi 3,2%, 14,9% menjadi 1,1% dan 12,6% menjadi 0,7% saat terdapat celah udara (1-3) cm. Berkurangnya dosis permukaan dan distribusi dosis yang tidak rata akibat celah antara bolus dengan permukaan kulit, menandakan diperlukannya evaluasi terhadap pemasangan bolus pada kulit pasien (Lynch, Monajemi, & Robar, 2020; Wang, Rickards, Bingham, Tward, & Price, 2022). Berdasarkan hal tersebut, untuk menghindari risiko munculnya celah dan menurunnya dosis pada permukaan maka dibuat bolus dalam bentuk tiga dimensi yang menyesuaikan dengan bentuk organ atau permukaan tubuh yang akan diobati (Fan et al., 2021; Makris et al., 2019; Meyer, Quirk, D'Souza, Spencer, & Roumeliotis, 2018).

Bolus cetak 3D biasanya terbuat dari bahan *thermoplastic sheets* seperti *Polylactic acid* (PLA) dan *Acrylonitrile Butadine Styrene* (ABS). PLA menunjukkan performa yang lebih baik karena memiliki nilai *Relative Electron Density* (RED) yang setara dengan jaringan tubuh manusia (Lynch et al., 2020; Wang et al., 2022). Beberapa penelitian serupa juga menunjukkan bahwa bolus cetak 3D dengan bahan PLA dapat digunakan dengan efisien. Hasil penelitian membuat bolus 3D dengan bahan PLA yang diuji menggunakan pasien yang menderita kanker disekitar telinga. Penelitian lainnya membuat bolus 3D dengan bahan PLA yang diuji menggunakan pasien yang menderita kanker payudara (Park et al., 2021).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat diketahui bahwa bolus cetak 3D dengan bahan PLA dapat mengurangi celah udara dan meningkatkan sifat dosimetri pada permukaan kulit yang tidak beraturan. Akan tetapi sebagian besar penelitian hanya menggunakan satu jenis variasi persentase material pengisi (*infill*) yaitu 100% pada pencetakan bolus 3D. Faktanya teknologi printer 3D memiliki kemampuan dalam mengubah kepadatan objek yang dicetak dengan memvariasikan jumlah persentase *infill* pada objek. Perbedaan persentase *infill* dapat mempengaruhi kelayakan bolus yang akan digunakan. Hal ini menjadi salah satu alasan pentingnya dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh persentase *infill* terhadap dosimetri bolus 3D berbahan PLA dalam meningkatkan efektivitas pengobatan pada kanker payudara.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Penelitian ini diawali dengan pengambilan citra manekin bagian payudara menggunakan CT-Simulator. Citra manekin yang dihasilkan berupa citra tomografi dalam arah *axial*, *coronal*, dan *sagital* terdiri dari 125 *slices*. Citra tomografi ini digunakan sebagai pedoman dalam mendesain bentuk bolus 3D. Hasil citra payudara manekin kemudian diproses menjadi bentuk 3D menggunakan perangkat lunak bernama *3D slicer*. *3D slicer* membantu proses *segmentasi* setiap *slices* citra hingga membentuk gambaran 3D. Sampel bolus yang telah berhasil didesain, kemudian dicetak menggunakan printer 3D *creality 10 5S* dengan melakukan pengaturan pada printer 3D terlebih dahulu. Pengaturan printer 3D dapat dilihat pada Tabel 1 yang terdiri dari pengaturan posisi objek, pengaturan tingkat kerapatan bolus dan kecepatan 3D printer, persiapan pencetakan dan pencetakan bolus.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Bolus yang telah dicetak terdiri dari bolus dengan persentase isian (*infill*) (20, 40, 60, 80, dan 100) %, kemudian dipindai menggunakan CT simulator untuk membuat *Region of Interest* (ROI) pada citra bolus tersebut. Pembuatan ROI bertujuan untuk memperoleh nilai *CT-Number* masing-masing bolus. *CT-Number* yang diperoleh akan digunakan untuk menghitung nilai *Relative Electron Density* (RED) berdasarkan Persamaan 1 dan 2 (Khan dkk, 2013) (Ricotti dkk, 2017) (Diaz-Merchan dkk, 2022). Penentuan nilai *CT-Number* dan RED disebut juga dengan karakterisasi dosimetri.

$$\rho_a = 1,052 + 0.00048N_{CT} \quad (1)$$

$$\rho_b = 1,000 + 0.001N_{CT} \quad (2)$$

N_{CT} adalah nilai dari *CT-Number*, ρ_a adalah nilai RED dengan nilai *CT-Number* lebih besar dari 100, dan ρ_b adalah nilai RED dengan nilai *CT-Number* kurang dari 100.

Setelah menentukan nilai RED, kemudian dapat ditentukan nilai dosis serap bolus. Dosis yang diberikan saat penyinaran menggunakan *Linier Accelerator* (LINAC) adalah 2 Gy dengan *Source-to-Surface Distance* (SSD) diatur pada 100 cm dan energi 6 MeV. Bolus diletakkan di atas *slab phantom* pada kedalaman maksimum. Hasil pengukuran dosis serap dapat dibaca langsung pada elektrometer yang dihubungkan dengan detektor *plan parallel chamber* dan ditempatkan pada *slab phantom*.

Sampel bolus dengan variasi persentase *infill* terbaik adalah bolus yang paling sesuai dengan karakteristik jaringan payudara. Setelah ditemukan bolus dengan persentase *infill* terbaik, maka bolus yang telah didesain sesuai dengan payudara manekin dicetak sesuai dengan jenis persentase *infill* yang dipilih.

Manekin payudara memiliki ketebalan 4,2 cm. Berdasarkan rekomendasi pemberian energi pada saat pengobatan menggunakan LINAC, kedalaman 4,2 cm dapat dijangkau oleh energi 15 MeV. Hal ini

menyebabkan saat evaluasi digunakan energi sebesar 15 MeV. Evaluasi penggunaan bolus 3D berbahan PLA ini ditentukan berdasarkan dosis serap bolus dan dibandingkan dengan dosis serap bolus komersial berbahan plastisin serta kondisi pada saat payudara manekin tidak di lapiasi dengan bolus. Bolus yang baik adalah bolus yang dapat meningkatkan dosis permukaan. Sehingga berdasarkan pengukuran dosis serap ini dapat dievaluasi bolus yang paling baik digunakan untuk payudara pada saat pengobatan menggunakan LINAC. Pengukuran dosis serap pada saat evaluasi ini menggunakan metode yang sama pada saat karakterisasi dosimetri. Perbedaannya *slab phantom* diganti dengan payudara manekin.

Penelitian ini menggunakan analisis deskriptif untuk menggambarkan efektifitas penggunaan bolus 3D pada payudara manekin sebagai pengganti pasien. Analisis juga didasarkan pada keberhasilan bolus untuk mencapai tujuannya.

Tabel 1. Pengaturan Printer

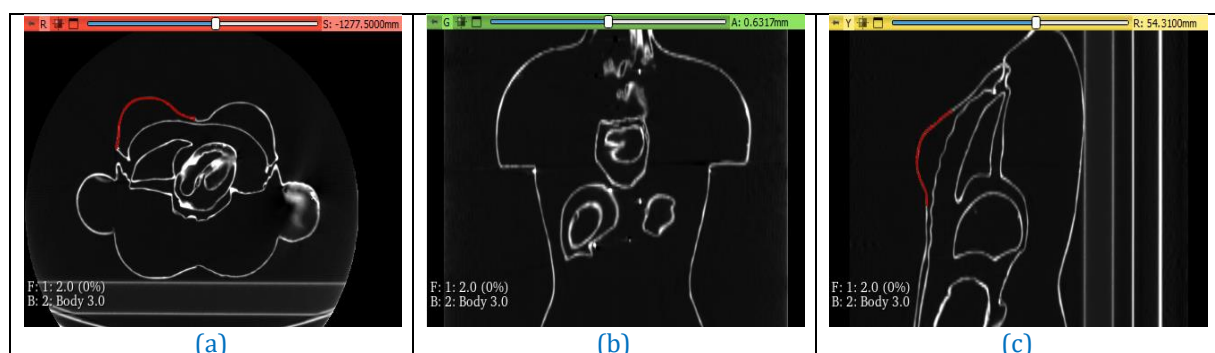
Parameter	Ukuran
Diameter <i>Nozzle</i>	0,4 mm
Ketebalan PLA	2,85 mm
Suhu alas	70° C
Tipe alas	Kaca
Suhu <i>Nozzle</i>	190° C
Tinggi lapisan awal	0,5 mm
Ketinggian lapisan	0,3 mm
Lebar garis	0,35 mm
Shells	1
<i>Infill %</i>	20, 40, 60, 80, 100
Kecepatan cetak	50 mm/s
Kecepatan lapisan awal	25 mm/s

(Park dkk, 2021)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

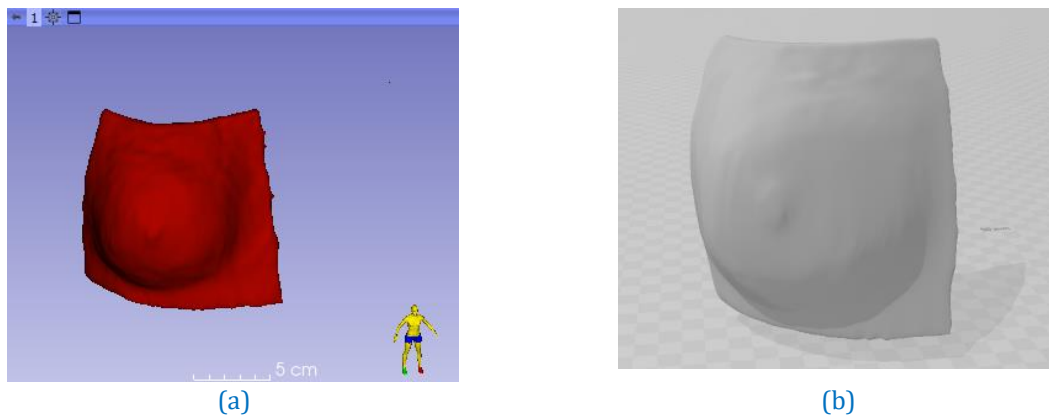
Hasil

Hasil pengambilan citra payudara manekin menggunakan CT-Simulator berupa citra *greyscale* 2D yang terdiri dari 125 *slices*. Hasil citra ditampilkan pada *software 3D slicer* dalam arah *axial*, *coronal*, dan *sagital* dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil citra manekin dalam berbagai arah ini digunakan sebagai acuan dalam mendesain bolus 3D berbentuk payudara. Citra disegmentasi menggunakan *tools* pada *software 3D slicer* yaitu *segmentations*. Selama proses segmentasi digunakan metode *threshold* untuk menandai bagian yang akan dibentuk 3D. Bolus yang telah disegmentasi diexport dalam format *stl* menyesuaikan dengan format desain yang dapat diproses oleh mesin printer 3D. Hasil segmentasi citra bolus 3D berbentuk payudara dan hasil *export* dalam format *stl* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Hasil Pengambilan Citra Payudara Manekin dalam Berbagai Arah. (a) *Axial*, (b) *Coronal*, dan (c) *Sagital*

Hasil pabrikan bolus 3D untuk pasien kanker payudara berdasarkan desain dari citra payudara manekin pada CT-Simulator, menunjukkan hasil yang optimal sesuai dengan bentuk payudara manekin sebagai pengganti pasien. Hasil pabrikan bolus 3D untuk pasien kanker payudara ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. (a) Hasil Segmentasi Citra Bolus 3D berbentuk Payudara dan (b) Hasil Export Citra dalam Format STL



Gambar 4. Hasil Pembuatan Bolus 3D untuk Pasien Kanker Payudara

Hasil perhitungan nilai RED berdasarkan pada pembuatan *region of interest* (ROI) untuk mendapatkan nilai CT-Number dan hasil pengamatan CT-Number serta perhitungan RED bolus dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai CT Number dan RED Bolus 3D Berbahan PLA

No.	Infill (%)	Nilai CT number rata-rata (HU)	RED
1	20	-825,38	0,9991
2	40	-650,36	0,9993
3	60	-453,98	0,9995
4	80	-260,88	0,9997
5	100	21,66	1,022

CT Number rata-rata bolus 3D berbahan PLA berkisar antara (-825,38) HU hingga 21,66 HU. Nilai negatif pada CT Number menandakan tingkat kerapatan bolus. Bolus yang memiliki nilai negatif menunjukkan bahwa bolus tersebut memiliki kerapatan yang lebih rendah begitu juga sebaliknya (Diaz-Merchan et al., 2022; Khan et al., 2013; Ricotti et al., 2017). Hal ini sesuai dengan data yang diperoleh bahwa bolus dengan persentase *infill* paling rendah yaitu 20% memiliki nilai CT Number yang paling negatif yaitu (-825,38) HU. Bolus dengan persentase *infill* 100% memiliki nilai CT Number positif yang menandakan bahwa bolus memiliki kerapatan yang lebih tinggi. Tabel 2 juga memberikan informasi terkait nilai Relative Electron Density (RED) bolus 3D berbahan PLA. RED bolus 3D berbahan PLA berkisar antara 0,9991 hingga 1,022. Bolus 3D berbahan PLA ini menunjukkan rentang nilai RED yang berada pada kisaran jaringan lunak otot, payudara, dan jaringan padat yaitu tulang padat.

Hasil pengukuran dosis serap dapat langsung terbaca pada elektrometer yang terhubung dengan detektor plan parallel chamber dengan 3 kali pengulangan. Hasil pengukuran dosis serap rata-rata pada dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Dosis Serap Rata-Rata

No.	Bahan	Dosis Serap rata-rata (Gy)
1	Bolus PLA <i>infill</i> 20%	1,905
2	Bolus PLA <i>infill</i> 40%	1,719
3	Bolus PLA <i>infill</i> 60%	1,429
4	Bolus PLA <i>infill</i> 80%	1,119
5	Bolus PLA <i>infill</i> 100%	0,632

Ketika *solid phantom* dilapisi dengan bolus berbahan PLA, dosis yang diterima oleh *solid phantom* berkisar antara 0,632 Gy hingga 1,905 Gy. Bolus 3D berbahan PLA dengan persentase *infill* 20% menunjukkan penyerapan dosis yang baik yaitu 1,905 Gy dari 2 Gy dosis yang diberikan, sedangkan bolus dengan persentase *infill* 100% menunjukkan penyerapan dosis yang rendah yaitu 0,632 Gy. Maka, bolus dengan persentase *infill* 20% adalah bolus yang direkomendasikan sebagai bolus radioterapi bagian payudara. Namun, untuk mengetahui keefektifan bolus dengan persentase *infill* 20% ini perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan membuat bolus 3D yang disesuaikan dengan hasil citra manekin payudara. Hasil pengukuran dosis serap rata-rata bolus pada manekin dapat dilihat pada [Tabel 4](#).

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dosis Serap Rata-Rata Manekin Payudara

No.	Perlakuan pada manekin	Dosis Serap rata-rata (Gy)
1	Tanpa Bolus	1,950
2	Dengan bolus 3D PLA	1,983
3	Dengan bolus komersial	1,972

Berdasarkan hasil pengukuran dosis serap rata-rata untuk manekin payudara pada [Tabel 4](#) dapat diketahui bahwa payudara manekin yang tidak dilapisi bolus memiliki dosis serap 1,95 Gy. Kemudian setelah dilapisi dengan bolus 3D berbahan PLA dosis serapnya meningkat menjadi 1,983 Gy. Hal ini sesuai dengan tujuan penggunaan bolus yaitu meningkatkan dosis permukaan untuk mengobati kanker yang berada di area permukaan kulit ([Ricotti et al., 2017](#); [Sutanto et al., 2018](#)). Jika dibandingkan dengan bolus komersial berbahan plastisin dengan dosis serap 1,972 Gy yang juga mampu meningkatkan dosis permukaan tapi memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan bolus berbahan PLA.

Pembahasan

Hasil fabrikasi bolus 3D berbahan PLA menunjukkan performa yang baik untuk digunakan sebagai bolus untuk payudara karena tidak ditemukan adanya celah antara bolus dengan permukaan kulit. Bolus ini juga memberikan keseragaman yang sama dari segi ketebalan dan persentase material pengisi (*infill*), sehingga setiap bagian permukaan tubuh yang akan ditutupi oleh bolus mendapatkan dosis yang merata. Bolus 3D berbahan PLA juga sangat cocok digunakan sebagai bolus karena memiliki nilai RED yang setara dengan jaringan tubuh manusia dan setara dengan densitas air. Secara teori, bolus yang baik adalah bolus dengan nilai RED mendekati nilai densitas air yaitu 1 g/cm^3 , ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa nilai RED dari bolus *paraffin wax*, *polylactic acid*, *red plastisin*, *play-doh*, *natural rubber*, *SR+aluminium*, *SR+bismuth* memiliki nilai RED yang mendekati nilai densitas air, dengan nilai RED dari bolus tersebut dimulai dari 0,750 hingga 1,140 ([Hariyanto, A. P., Fachrina, U. M., Levina, A., Endarko, E., dan Bambang, 2020](#)).

Bolus 3D berbahan PLA lebih mudah diaplikasikan pada bagian payudara pasien karena telah didesain berdasarkan bentuk payudara. Hal ini dapat mencegah adanya celah terbentuk antara kulit pasien dan bolus. Jika terdapat celah, dapat mempengaruhi proses penyinaran menggunakan LINAC yaitu dapat menurunkan dosis permukaan sehingga pengobatan menjadi tidak maksimal ([Munoz, Rijken, Hunter, & Nyathi, 2020](#)). Berdasarkan hasil pengamatan citra bolus, bolus 3D berbahan PLA tidak menunjukkan adanya celah. Hal ini menunjukkan bahwa bolus berbahan PLA memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan dosis permukaan dibandingkan dengan bolus komersial. Bolus komersial berupa lembaran tidak mampu menutupi secara sempurna bagian tubuh yang tidak rata seperti telinga, hidung, kulit kepala dan payudara. Hal ini mengakibatkan adanya celah antara bolus dengan permukaan kulit ([Aras dkk, 2020](#)). Sementara bolus 3D berbahan PLA memiliki bentuk yang disesuaikan dengan bentuk payudara manekin sehingga kemungkinan adanya celah dapat diminimalisir. Hal ini menunjukkan bahwa bolus 3D berbahan PLA dapat menjadi salah satu bolus alternatif yang efektif saat terapi radiasi pada kanker payudara.

Nilai RED payudara adalah 0,976 sehingga berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan bolus yang memiliki nilai RED yang paling mendekati RED payudara adalah bolus dengan persentase *infill* 20% yaitu 0,9991 ([Ricotti et al., 2017](#); [Sutanto et al., 2018](#)). Hal ini menyebabkan penggunaan bolus 3D berbahan

PLA dengan persentase *infill* 20% lebih direkomendasikan untuk digunakan karena memiliki RED yang lebih mendekati nilai RED payudara. Bolus dengan persentase selain 20% juga direkomendasikan untuk digunakan karena memiliki RED yang setara dengan jaringan dan organ tubuh yang lainnya.

Bolus 3D berbahan PLA dengan persentase *infill* 100% memiliki kerapatan yang tinggi sehingga menyebabkan semakin dangkal jangkauan kedalaman dosis serap yang ditempuh (Diaz-Merchan et al., 2022; Khan et al., 2013; Ricotti et al., 2017). Hal ini sesuai dengan teori bahwa nilai dosis serap akan menurun sejalan meningkatnya ketebalan dan kerapatan bolus dibandingkan dengan tanpa bolus, karena bolus dengan ketebalan dan kerapatan yang kecil akan menyebarkan lebih banyak elektron dibandingkan dengan bolus yang lebih tebal dan rapat, ketebalan dan kerapatan bolus tersebut juga akan mempengaruhi penyebaran radiasi yang akan diteruskan (Diaz-Merchan et al., 2022; Khan et al., 2013; Ricotti et al., 2017). Beberapa penelitian serupa juga menunjukkan bahwa bolus cetak 3D dengan bahan PLA dapat digunakan dengan efisien. Hasil penelitian membuat bolus 3D dengan bahan PLA yang diuji menggunakan pasien yang menderita kanker disekitar telinga. Penelitian lainnya membuat bolus 3D dengan bahan PLA yang diuji menggunakan pasien yang menderita kanker payudara (Park et al., 2021).

Bolus berbahan PLA memiliki kemampuan yang lebih baik dalam meningkatkan dosis permukaan dibandingkan dengan bolus komersial berbahan plastisin. Hal ini karena bolus komersial berbahan plastisin ini masih berupa lembaran yang memungkinkan adanya celah antara bolus dengan permukaan kulit pasien, sementara bolus 3D berbahan PLA memiliki bentuk yang disesuaikan dengan bentuk payudara manekin sehingga kemungkinan adanya celah dapat diminimalisir. Rendahnya celah pada bolus 3D berbahan PLA ini dapat dibuktikan dengan dosis serap yang lebih tinggi dibandingkan dengan bolus komersial.

4. SIMPULAN

Hasil pabrikasi bolus 3D berbahan PLA menunjukkan performa yang cocok untuk digunakan sebagai bolus untuk payudara karena tidak ditemukan celah antara bolus dan permukaan fantom dan payudara manekin. Bolus 3D berbahan PLA pada semua variasi persentase *infill* memiliki nilai RED setara dengan jaringan manusia. Bolus dengan persentase *infill* 20% memiliki nilai RED yang paling mendekati RED payudara yaitu 0,99 dan mampu menyerap radiasi sebesar 1,98 Gy lebih optimal, jika dibandingkan dengan bolus komersial yang mampu menyerap sebesar 1,97 Gy dari 2 Gy dosis yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa bolus 3D berbahan PLA dapat menjadi salah satu bolus alternatif yang efektif saat pengobatan kanker payudara menggunakan radioterapi dengan elektron.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rumah Sakit Universitas Andalas dan Fakultas MIPA yang telah mendukung penelitian ini (Hibah nomor 22/UN.16.03.D/PP/FMIPA/2022).

6. DAFTAR PUSTAKA

- Aoyama, T., Uto, K., Shimizu, H., Ebara, M., Kitagawa, T., Tachibana, H. Kodaira, T. (2020). Physical and dosimetric characterization of thermoset shape memory bolus developed for radiotherapy. *Medical Physics*, 47(12), 6103–6112. <https://doi.org/10.1002/mp.14516>.
- Aras, S., Tanzer, İ. O., & İkizceli, T. (2020). Dosimetric comparison of superflab and specially prepared bolus materials used in radiotherapy practice. *European Journal of Breast Health*, 16(3), 167–170. <https://doi.org/10.5152/ejbh.2020.5041>.
- Biltekin, F., Yazici, G., & Ozyigit, G. (2021). Characterization of 3D-printed bolus produced at different printing parameters. *Medical Dosimetry*, 46(2), 157–163. <https://doi.org/10.1016/j.meddos.2020.10.005>.
- Chiu, T., Tan, J., Brenner, M., Gu, X., Yang, M., Westover, K., ... Zhao, B. (2018). Three-dimensional printer-aided casting of soft, custom silicone boluses (SCSBs) for head and neck radiation therapy. *Practical Radiation Oncology*, 8(3), e167–e174. <https://doi.org/10.1016/j.prr.2017.11.001>.
- Contents, C. (2012). Chapter | 26 |, 431–466.
- da Luz, F. A. C., da Costa Marinho, E., Nascimento, C. P., de Andrade Marques, L., Duarte, M. B. O., Delfino, P. F. R., ... Silva, M. J. B. (2022). The effectiveness of radiotherapy in preventing disease recurrence after breast cancer surgery. *Surgical Oncology*, 41, 101709. <https://doi.org/10.1016/j.suronc.2022.101709>.
- Diaz-Merchan, J. A., Martinez-Ovalle, S. A., & Vega-Carrillo, H. R. (2022). Characterization of a novel material to be used as bolus in radiotherapy with electrons. *Applied Radiation and Isotopes*, 183, 110154. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110154>.

- Dyer, B. A., Campos, D. D., Hernandez, D. D., Wright, C. L., Perks, J. R., Lucero, S. A., ... Rao, S. S. (2020). Characterization and clinical validation of patient-specific three-dimensional printed tissue-equivalent bolus for radiotherapy of head and neck malignancies involving skin. *Physica Medica*, 77, 138–145. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.08.010>.
- Fan, J., Xu, G., Yang, D., Chen, W., Zhang, D., Wang, M., ... Li, X. (2021). Fabrication and Application of 3D Printed Bolus for Optimizing Radiotherapy in Superficial Tumor. *Clinics of Surgery*, 06(12). <https://doi.org/10.47829/cos.2021.61201>.
- Gomez, G., Baeza, M., Mateos, J. C., Rivas, J. A., Simon, F. J. L., Ortega, D. M., ... Guerra, J. L. L. (2021). A three-dimensional printed customized bolus: adapting to the shape of the outer ear. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 26(2), 211–217. <https://doi.org/10.5603/RPOR.a2021.0030>.
- Hariyanto, A. P., Fachrina, U. M., Levina, A., Endarko, E., dan Bambang, H. S. (2020). Fabrication and characterization of bolus material using propylene glycol for radiation therapy. *Iranian Journal of Medical Physics*, 70(3), 161–169.
- Khan, Y., Villarreal-Barajas, J. E., Udowicz, M., Sinha, R., Muhammad, W., Abbasi, A. N., & Hussain, A. (2013). Clinical and dosimetric implications of air gaps between bolus and skin surface during radiation therapy. *Journal of Cancer Therapy*, 4(7), 1251. <https://doi.org/10.4236/jct.2013.47147>.
- Koutsouvelis, N., Rouzaud, M., Dubouloz, A., Nouet, P., Jaccard, M., Garibotto, V., ... Dipasquale, G. (2020). 3D printing for dosimetric optimization and quality assurance in small animal irradiations using megavoltage X-rays. *Zeitschrift Für Medizinische Physik*, 30(3), 227–235. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2020.03.004>.
- Lobo D., Banerjee, S., Srinivas, C., Ravichandran, R., Putha, S.K., Saxena, P.P., Reddy, S., dan Sunny, J. (2021). Influence of Air Gap Under Bolus in The Dosimetry of a Clinical 6MV Photon Beam. *Journal of Medical Physic*, 45, 175–181. https://doi.org/10.4103/jmp.JMP_53_20.
- Lynch, N., Monajemi, T., & Robar, J. L. (2020). Characterization of novel 3D printed plastic scintillation dosimeters. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 6(5), 55014. <https://doi.org/10.1088/2057-1976/aba880>.
- Madamesila, J., McGeachy, P., Barajas, J. E. V., & Khan, R. (2016). Characterizing 3D printing in the fabrication of variable density phantoms for quality assurance of radiotherapy. *Physica Medica*, 32(1), 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2015.09.013>.
- Makris, D. N., Pappas, E. P., Zoros, E., Papanikolaou, N., Saenz, D. L., Kalaitzakis, G., ... Pappas, E. (2019). Characterization of a novel 3D printed patient specific phantom for quality assurance in cranial stereotactic radiosurgery applications. *Physics in Medicine & Biology*, 64(10), 105009. <https://doi.org/10.1088/1361-6560/ab1758>.
- McCallum, S., Maresse, S., & Fearn, P. (2021). Evaluating 3D-printed Bolus Compared to Conventional Bolus Types Used in External Beam Radiation Therapy. *Current Medical Imaging*, 17(7), 820–831. <https://doi.org/10.2174/1573405617666210202114336>.
- Meyer, T., Quirk, S., D'Souza, M., Spencer, D., & Roumeliotis, M. (2018). A framework for clinical commissioning of 3D-printed patient support or immobilization devices in photon radiotherapy. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 19(5), 499–505. <https://doi.org/10.1002/acm2.12408>.
- Munoz, L., Rijken, J., Hunter, M., & Nyathi, T. (2020). Investigation of elastomeric materials for bolus using stereolithography printing technology in radiotherapy. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 6(4), 45014. <https://doi.org/10.1088/2057-1976/ab9425>.
- Park, S.-Y., Choi, C. H., Park, J. M., Chun, M., Han, J. H., & Kim, J. (2021). A patient-specific polylactic acid bolus made by a 3D printer for breast cancer radiation therapy. *PLoS One*, 11(12), e0168063.
- Podgorsak, E. B. (2019). *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna: IAEA.
- Ricotti, R., Ciardo, D., Pansini, F., Bazani, A., Comi, S., Spoto, R., ... Orecchia, R. (2017). Dosimetric characterization of 3D printed bolus at different infill percentage for external photon beam radiotherapy. *Physica Medica*, 39, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.06.004>.
- Robar, J. L., Moran, K., Allan, J., Clancey, J., Joseph, T., Chytyk-Praznik, K., ... Rutledge, R. (2018). Inpatient study comparing 3D printed bolus versus standard vinyl gel sheet bolus for postmastectomy chest wall radiation therapy. *Practical Radiation Oncology*, 8(4), 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.prro.2017.12.008>.
- Rumgay, H., Shield, K., Charvat, H., Ferrari, P., Sornpaisarn, B., Obot, I., ... Soerjomataram, I. (2021). Global burden of cancer in 2020 attributable to alcohol consumption: a population-based study. *The Lancet Oncology*, 22(8), 1071–1080. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(21\)00279-5](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(21)00279-5).
- Susworo, R. (2018). *Radioterapi*. Jakarta: UI Press.
- Sutanto, H., Eko, H., Gede, J. W., Santi, A. Y., & Suparman Suppa Astri, S. S. (2018). *Bolus Berbahan Silicone dan Natural Rubber*. Semarang: Undip Press.
- Tino, R., Yeo, A., Leary, M., Brandt, M., & Kron, T. (2019). A systematic review on 3D-printed imaging and

- dosimetry phantoms in radiation therapy. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 18, 1533033819870208. <https://doi.org/10.1177/1533033819870208>.
- Wang, K. M., Rickards, A. J., Bingham, T., Tward, J. D., & Price, R. G. (2022). Technical note: Evaluation of a silicone-based custom bolus for radiation therapy of a superficial pelvic tumor. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, (January 2021), 1–8. <https://doi.org/10.1002/acm2.13538>.
- Zou, W., Fisher, T., Zhang, M., Kim, L., Chen, T., Narra, V., ... Yin, L. (2015). Potential of 3D printing technologies for fabrication of electron bolus and proton compensators. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 16(3), 90–98. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v16i3.4959>.