

Perbandingan Dosis Serap Bolus Berbahan *Playdough*, Plastisin, dan *Silicone Rubber* pada Radioterapi Berkas Elektron 6 MeV dan 9 MeV

Niken Pramita¹, Rico Adrial^{1,*}, Muhammad Ilyas²

¹Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas, Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163.

²Instalasi Radioterapi, Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, Limau Manis, Padang, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 25 Maret 2023
Direvisi: 11 Mei 2023
Diterima: 14 Juni 2023

Kata kunci:

Dosis Serap
Playdough
Plastisin
Silicone Rubber
Relative Electron Density (RED)

Keywords:

Absorbed Dose
Playdough
Plasticine
Silicone Rubber
Relative Electron Density (RED)

Penulis Korespondensi:

Rico Adrial
Email: ricoadrial@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan perbandingan dosis serap bolus berbahan *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* pada radioterapi berkas elektron. Tujuan penelitian ini adalah membandingkan dosis serap bolus, menghitung nilai *Relative Electron Density* (RED) dan densitas fisis bolus berbahan *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber*. Bolus dibuat berukuran 15 cm×15 cm dengan ketebalan (0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0) cm. Nilai RED diperoleh dari citra tomografi menggunakan CT-Simulator dengan menentukan 5 daerah *Region of Interest* (ROI). Densitas fisis dihitung berdasarkan perbandingan massa dan volume. Dosis serap diukur menggunakan detektor *plan parallel chamber* dengan variasi energi *Linear Accelerator* (LINAC) sebesar 6 MeV dan 9 MeV. Hasil yang didapat adalah bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* memiliki susunan bahan yang homogen dengan nilai RED yang didapat berada di atas RED air. Densitas fisis bolus *playdough* dan bolus plastisin berada di atas densitas jaringan kulit namun lebih rendah dari jaringan tulang, sedangkan densitas fisis bolus *silicone rubber* mendekati densitas air, jaringan otot, hati, ginjal, dan paru-paru. Nilai dosis serap bolus *silicone rubber* ketebalan 0,5 cm lebih mendekati nilai dosis serap saat tanpa bolus, sehingga bolus yang lebih baik digunakan untuk energi 6 MeV dan 9 MeV adalah bolus *silicone rubber*.

Comparison of absorbed dose bolus made from playdough, plasticine, and silicone rubber in electron beam radiotherapy has been assessed. This study aims to compare the absorbed dose, calculate the Relative Electron Density (RED) value, and physical density of playdough, plasticine, and silicone rubber bolus. The boluses were made with dimension of 15 cm×15 cm and thickness of (0,5; 1,0; 1,5; and 2,0) cm. RED value was obtained from tomographic image using CT-Simulator by determining 5 Region of Interest (ROI) regions. The physical density was calculated based on the mass and volume ratio. The absorbed dose was measured using a plan parallel chamber detector with a Linear Accelerator (LINAC) energy variation of 6 MeV and 9 MeV. The results are playdough, plasticine, and silicone rubber bolus have a homogeneous material composition with RED values is above the RED of water. The physical density of playdough and plasticine bolus is above the density of skin tissue but lower than bone tissue, while the physical density of silicone rubber bolus is close to the density of water, muscle, liver, kidney, and lung tissue. The absorbed dose value of silicone rubber bolus with a thickness of 0.5 cm is closer to the absorbed dose without bolus, so bolus of silicone rubber that are better used at energy of 6 MeV and 9 MeV are silicone rubber bolus.

Copyright © 2023 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan teknik pengobatan penyakit kanker dengan memanfaatkan radiasi pengion berenergi tinggi. Salah satu modalitas radioterapi adalah *Linear Accelerator* (LINAC) yang dapat menghasilkan keluaran berkas foton dan elektron. LINAC dengan keluaran berkas elektron digunakan untuk mengobati kanker di dekat permukaan kulit, namun dosis serap pada permukaan kulit tidak maksimal sehingga diperlukan suatu bahan yang setara jaringan tubuh agar dosis maksimum tepat di lokasi yang dibutuhkan, yang dikenal dengan nama bolus.

Bolus dapat dibuat dengan bahan yang memiliki kesetaraan dengan jaringan tubuh, fleksibel, tahan terhadap dosis radiasi, mudah dibersihkan, dan tidak beracun (Khan, 2003). Karakteristik lainnya adalah memiliki elastisitas yang baik dan tidak adanya gelembung udara pada permukaan bolus (Adamson, et al., 2017). Bolus yang baik adalah bolus yang homogen di setiap sisinya, nilai dosis serap yang mendekati nilai dosis serap saat tanpa bolus, serta memiliki nilai *Relative Electron Density* (RED) dan densitas fisis yang setara dengan air (Podgorsak, 2005). RED adalah jumlah elektron per satuan volume dari suatu bahan yang dibandingkan dengan air. Nilai RED diperlukan untuk melihat kepadatan dan kehomogenan susunan suatu bahan (Jaafar et al., 2022), dan densitas fisis untuk melihat kesetaraan bahan dengan jaringan tubuh manusia. Beberapa bahan yang dapat dijadikan bolus adalah *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber*.

Endarko, et al., (2020) telah melakukan penelitian tentang evaluasi sifat dosimetri dari beberapa bolus buatan tangan untuk terapi berkas elektron dan foton. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai dosis serap bolus *playdough* dan plastisin pada berkas elektron bervariasi tergantung ketebalan bolus. Nilai RED bolus *playdough* yang didapatkan setara dengan RED air dan jaringan payudara, serta RED bolus plastisin setara dengan RED air, jaringan otot, dan payudara. Jaya, et al., (2020) melakukan penelitian tentang studi penggunaan bolus berbahan *silicone rubber* terhadap dosis permukaan pada radioterapi berkas elektron. Hasil penelitian yang didapatkan yaitu bolus *silicone rubber* dapat meningkatkan dosis permukaan. Chantika, et al., (2022) membandingkan dosis serap bolus plastisin dengan bolus *silicone rubber* pada kasus kanker di permukaan. Energi berkas elektron yang digunakan sebesar 6 MeV, 9 MeV, dan 12 MeV. Hasil penelitian menunjukkan secara umum nilai dosis serap bolus *silicone rubber* lebih baik dibandingkan bolus plastisin, sehingga bolus *silicone rubber* lebih efektif digunakan pada kasus kanker permukaan dibandingkan dengan bolus plastisin. Pada bolus plastisin tersebut masih terdapat gelembung udara yang terperangkap, hal ini mempengaruhi nilai RED dan dosis serap bolus plastisin.

Bolus berbahan *playdough* dan plastisin memiliki karakteristik fleksibel, mudah dibentuk, dan tidak kaku, sehingga dapat mengikuti bentuk permukaan tubuh dengan baik dibandingkan dengan bolus *silicone rubber* yang memiliki karakteristik elastis, semi kaku, dan sulit mengikuti bentuk permukaan tubuh. Bolus *playdough* dan plastisin dibuat dengan memberikan tekanan yang terukur di permukaan bolus agar setiap sisinya homogen dan tidak ada gelembung udara yang terjebak di dalam bolus, sehingga nilai RED dan dosis serapnya dapat seragam. Penelitian ini untuk melihat apakah bolus *silicone rubber* tetap lebih baik dibandingkan bolus *playdough* dan plastisin setelah bolus *playdough* dan plastisin dibuat homogen. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan dosis serap bolus dan menentukan kehomogenan bahan bolus berdasarkan perhitungan densitas fisis dan nilai RED.

II. METODE

2.1 Pembuatan Bolus

Bolus *playdough* dibuat dari tepung, air, dan garam (Nagata, et al., 2012) dengan komposisi yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 150 g tepung terigu, 150 ml air, 75 g garam, 10 ml minyak sawit, dan 10 g krim tartar ditambahkan sebagai pengemulsi. Bahan-bahan tersebut diaduk dan dimasak dengan api kecil hingga kalis, kemudian dicetak. Bolus plastisin dibuat dengan mencampurkan 1,5 kg plastisin dengan 20 ml minyak sawit. Selanjutnya, sampel ditimpa dengan beban 5 kg untuk memberikan tekanan dan menghilangkan gelembung udara di dalamnya. Bolus *silicone rubber* dibuat dengan mencampurkan material 1 kg *silicone rubber* RTV-52 dan 40 g katalis. Pencampuran bahan menggunakan *mixer* agar bahan tercampur merata. Selanjutnya sampel dituang ke dalam cetakan yang telah diolesi *silicone oil*. Sebelum mengeras, sampel segera diratakan menggunakan spatula agar tidak ada gelembung udara yang terperangkap di permukaan sampel. Semua jenis bolus pada penelitian ini dibuat dengan ukuran 15 cm×15 cm dan ketebalan 0,5 cm; 1,0 cm; 1,5 cm; dan 2,0 cm.

2.2 Penentuan Nilai RED, Densitas Fisis, dan Dosis Serap Bolus

Penentuan nilai RED dilakukan dengan melakukan pengambilan citra tomografi bolus dengan CT-Simulator bertegangan 120 kV dan arus 200 mA. Hasil citra tersebut dikirim ke komputer *Treatment Planning System* (TPS) untuk membuat lima daerah *Region of Interest* (ROI). Daerah ROI yang dipilih disesuaikan dengan titik standar yaitu pada arah jam 12, jam 3, jam 6, jam 9, dan pusat bolus (BAPETEN, 2018). Nilai RED dihitung berdasarkan CT-Number dari hasil pembuatan ROI tersebut, dengan menggunakan Persamaan (1) jika nilai N_{CT} lebih besar dari 100, dan Persamaan (2) jika N_{CT} lebih kecil dari 100 (Sutanto, et al., 2018).

$$\rho_a = 1,052 + 0,00048N_{CT} \quad (1)$$

$$\rho_b = 1,000 + 0,001N_{CT} \quad (2)$$

dengan ρ_a dan ρ_b adalah nilai kerapatan berdasarkan nilai RED dan N_{CT} adalah nilai CT-Number (HU).

Penentuan densitas fisis bolus dilakukan dengan mengukur massa dan volume dari masing-masing bolus kemudian menggunakan Persamaan (3).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3)$$

dengan ρ adalah densitas fisis (g/cm^3), m adalah massa (g), dan V adalah volume (cm^3).

Penentuan dosis serap bolus dilakukan dengan menyinari bolus yang diletakkan di atas *slab phatom* menggunakan berkas elektron 6 MeV dan 9 MeV dari pesawat LINAC. Sebelum penyinaran, ketebalan *slab phatom* disesuaikan dengan kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}). Nilai Z_{maks} untuk energi 6 MeV adalah 1,4 cm dan energi 9 MeV adalah 2,2 cm. Luas aplikator yang digunakan sebesar 10 cm×10 cm dan *Source to Surface Distance* (SSD) diatur sebesar 100 cm dari permukaan fantom. Kemudian detektor *plan parallel chamber* tipe PPC40 dihubungkan dengan elektrometer dan diletakkan di kedalaman Z_{maks} . Selanjutnya pengukuran dosis serap pada fantom saat tanpa bolus dan dengan bolus dilakukan bergantian. Hasil pengukuran dosis serap ditampilkan pada elektrometer dalam satuan *Gray* (Gy) kemudian dikonversi ke satuan *centiGray* (cGy).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Pembuatan Bolus

3.1.1 Bolus *Playdough*

Bolus *playdough* yang telah dibuat memiliki tekstur yang fleksibel sehingga mudah dicetak, permukaan bolus dapat diratakan, namun dapat berubah bentuk dengan mudah apabila diberi tekanan. Berdasarkan pengamatan langsung, bolus *playdough* yang telah dibuat cocok digunakan pada permukaan tubuh yang tidak rata karena sifat fleksibelnya sehingga dapat mengikuti kontur tubuh. Kekurangan dari bolus ini adalah tidak tahan lama, dan teksturnya yang akan berubah menjadi lunak dan lengket jika dibiarkan selama lebih dari 2 minggu. Melalui proses memasak, tekstur bolus *playdough* dapat dipertahankan hingga 1 bulan, namun setelah 1 bulan bolus akan berubah menjadi lunak kembali. Berdasarkan hal ini, bolus *playdough* ini tidak dianjurkan digunakan untuk pengobatan radioterapi metode fraksi harian. Hasil pembuatan bolus *playdough* dapat dilihat pada Gambar 1(a).

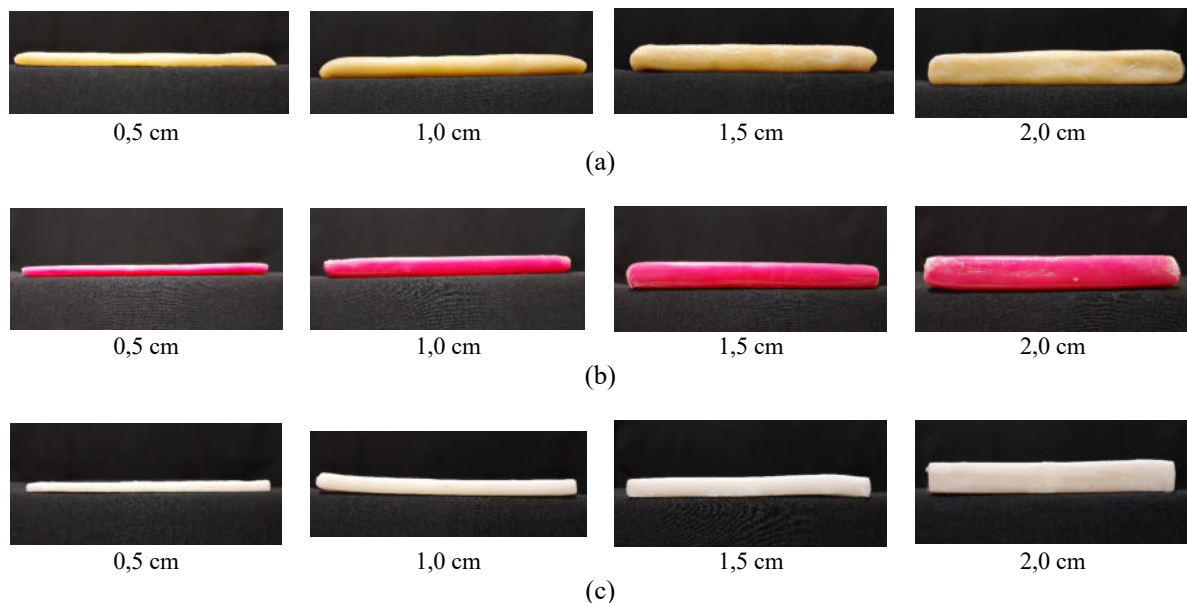
3.1.2 Bolus Plastisin

Bolus plastisin yang telah dibuat memiliki tekstur yang fleksibel dan sedikit lebih kaku dibandingkan bolus *playdough*. Pemberian minyak sawit pada plastisin memberikan tekstur plastisin yang lebih mudah dibentuk dan permukaannya yang rata. Berdasarkan pengamatan, bolus plastisin lebih tahan lama dibandingkan bolus *playdough* sehingga dapat digunakan berulang untuk pengobatan fraksi harian, dan dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Hasil pembuatan bolus plastisin dapat dilihat pada Gambar 1(b).

3.1.3 Bolus *Silicone Rubber*

Bolus *silicone rubber* yang telah dibuat memiliki tekstur yang elastis, tidak terjadi perubahan bentuk ataupun tekstur pada temperatur dibawah 22°C dan di atas 25°C, sehingga bolus *silicone rubber* ini dapat disimpan dalam jangka waktu yang lama. Komposisi yang tepat dalam proses pencampuran antara material *silicone rubber* RTV 52 dengan katalisnya memberikan hasil bolus *silicone rubber* yang

tidak terlalu kaku. Hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembuatan bolus *silicone rubber* ini yaitu proses penuangan sampel ke dalam cetakan agar tidak ada gelembung udara yang terperangkap dalam bolus. Hasil pembuatan bolus *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar 1 (c).



Gambar 1 Hasil pembuatan bolus: (a) *playdough*, (b) plastisin, dan (c) *silicone rubber*

3.2 Nilai *Relative Electron Density* (RED) Bolus

Nilai RED bolus didapatkan dari nilai *CT-Number* saat pembuatan daerah ROI pada citra tomografi. Nilai RED bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai RED bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber*

Ketebalan (cm)	RED berdasarkan <i>CT-Number</i>		
	<i>Playdough</i>	Plastisin	<i>Silicone Rubber</i>
0,5	1,19 ± 0,028	1,01 ± 0,022	1,10 ± 0,03
1,0	1,20 ± 0,008	1,06 ± 0,012	1,12 ± 0,028
1,5	1,19 ± 0,006	1,07 ± 0,022	1,15 ± 0,016
2,0	1,20 ± 0,012	1,10 ± 0,012	1,16 ± 0,004
Rata-rata	1,20 ± 0,014	1,06 ± 0,017	1,13 ± 0,029

Berdasarkan Tabel 1, nilai RED yang didapat berada di atas RED air (1,000), artinya ketiga jenis bolus memiliki susunan bahan yang homogen karena nilai *CT-Number* yang didapat diatas nilai 0. Apabila nilai *CT-Number* yang didapat berada dibawah nilai 0 maka hal ini menandakan masih ada gelembung udara yang terperangkap di dalam bolus. Pada hasil penelitian, RED bolus *playdough* berada di atas RED jaringan tulang (1,117) namun lebih rendah dari RED tulang padat (1,512). Nilai RED bolus *playdough* yang didapatkan sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan nilai RED dari hasil penelitian (Endarko, et al., 2020). RED bolus plastisin yang didapat setara dengan RED jaringan otot (1,043) dan hati (1,052), hasil ini sesuai dengan hasil penelitian (Carina, et al., 2020). Pada bolus *silicone rubber* nilai RED yang didapat setara dengan RED jaringan tulang (1,117). Hasil ini sedikit lebih rendah dari hasil penelitian (Chantika, et al., 2022). Hal ini dikarenakan perbedaan dimensi dan pemberian tekanan saat pembuatan bolus. Bolus dengan dimensi yang lebih besar maka densitas yang terukur akan semakin tinggi.

3.3 Nilai Densitas Fisis

Densitas bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* telah ditentukan berdasarkan Persamaan (3), hasil pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

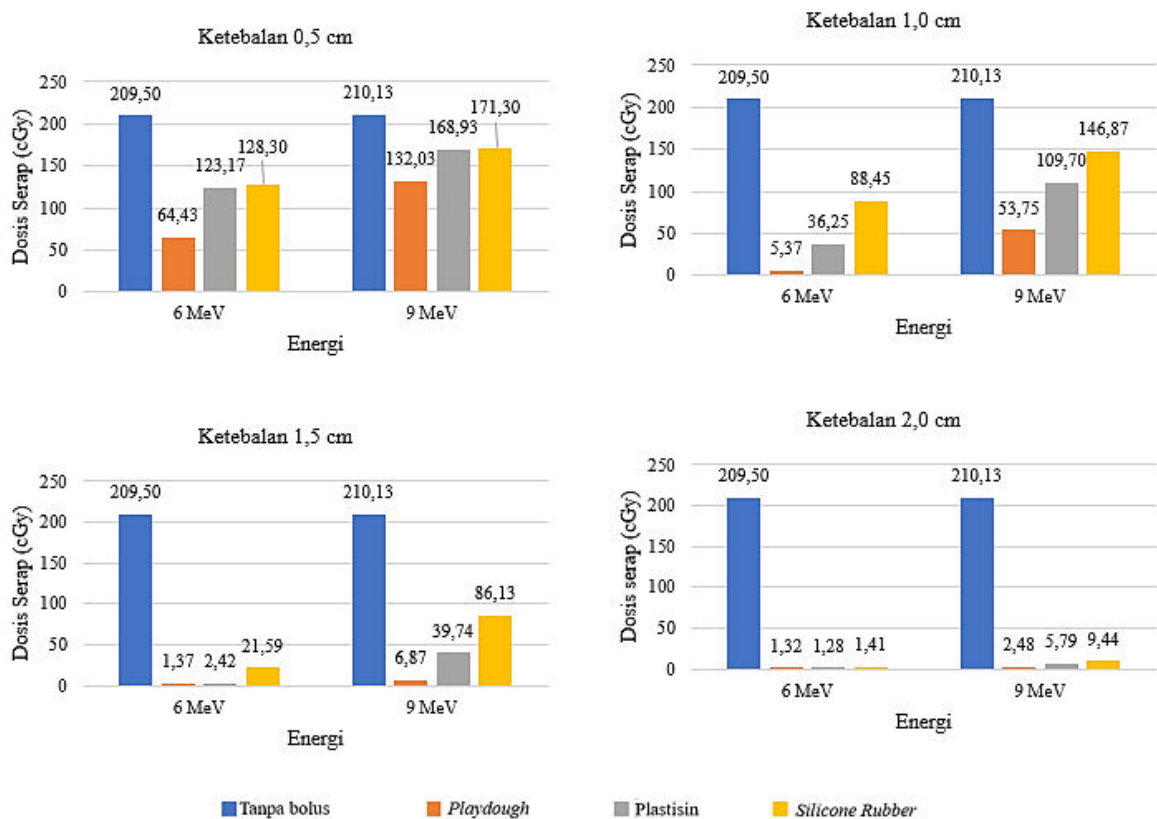
Tabel 2 Densitas fisis bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber*
Densitas Fisis (g/cm³)

Ketebalan (cm)	Densitas Fisis (g/cm ³)		
	<i>Playdough</i>	Plastisin	<i>Silicone Rubber</i>
0,5	1,68	1,24	1,21
1,0	1,71	1,14	0,87
1,5	1,44	1,14	0,88
2,0	1,15	1,14	1,11

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata densitas fisis bolus *playdough* sebesar 1,50 g/cm³, bolus plastisin sebesar 1,17 g/cm³, dan bolus *silicone rubber* 1,02 g/cm³. Hasil penelitian menunjukkan bolus yang telah dibuat memiliki kesetaraan dengan jaringan tubuh manusia. Apabila dibandingkan dengan densitas jaringan tubuh, densitas fisis bolus *playdough* dan bolus plastisin berada di atas densitas jaringan kulit (1,090 g/cm³) namun lebih rendah dari densitas jaringan tulang (1,920 g/cm³), sedangkan densitas fisis bolus *silicone rubber* mendekati densitas air (1,000 g/cm³), jaringan otot (1,050 g/cm³), hati (1,050 g/cm³), ginjal (1,050 g/cm³), dan paru-paru (1,060 g/cm³).

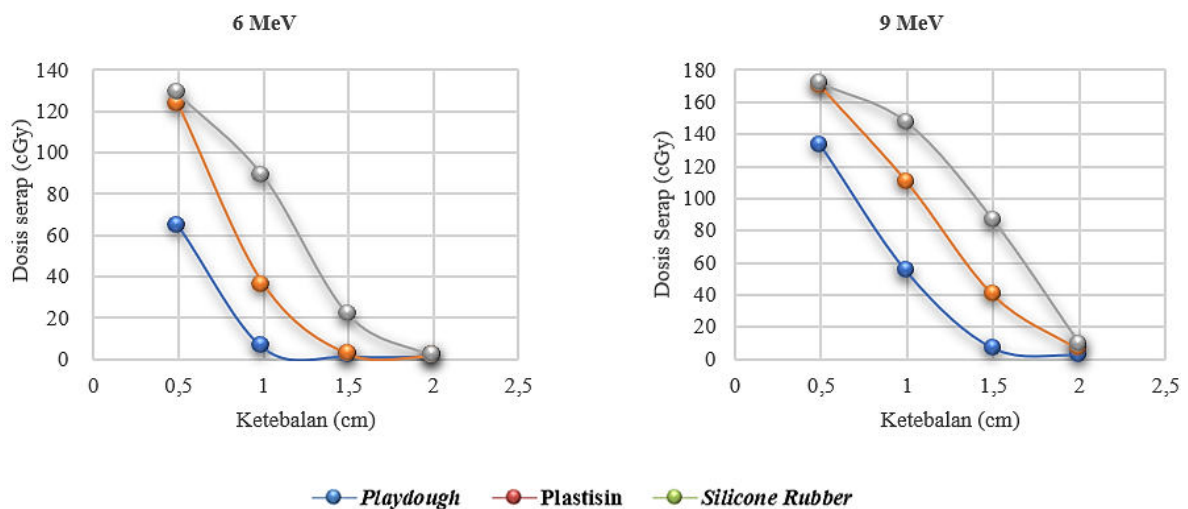
3.4 Dosis Serap Bolus

Pengukuran dosis serap menggunakan LINAC berkas elektron berenergi 6 MeV dan 9 MeV terhadap bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* dengan variasi ketebalan (0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0) cm telah dilakukan. Grafik nilai dosis serap bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* dapat dilihat pada Gambar 2, dan hubungan nilai dosis serap terhadap ketebalan bolus dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Nilai dosis serap bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber*

Berdasarkan Gambar 2, nilai dosis serap bolus tertinggi pada energi 6 MeV diterima oleh bolus *silicone rubber* ketebalan 0,5 cm. Pada energi dan ketebalan yang sama, bolus *playdough* mendapatkan nilai dosis serap terendah. Pola yang sama juga ditunjukkan oleh energi 9 MeV, dengan bolus *silicone rubber* untuk ketebalan 0,5 cm juga mendapatkan nilai dosis serap tertinggi dan bolus *playdough* ketebalan yang sama mendapatkan nilai dosis serap terendah. Nilai dosis serap terendah pada energi 6 MeV dan 9 MeV diterima oleh bolus ketebalan 2,0 cm.



Gambar 3 Hubungan nilai dosis serap terhadap ketebalan bolus

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara nilai dosis serap dengan ketebalan bolus. Berdasarkan grafik, dapat dilihat bahwa ketebalan bolus yang meningkat akan memperkecil nilai dosis serap. Bolus dengan ketebalan yang lebih besar akan menerima dosis serap yang lebih rendah dibandingkan bolus dengan ketebalan yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan atom-atom pada bahan dengan ketebalan lebih besar lebih banyak berinteraksi dengan radiasi, sehingga menyebabkan penurunan energi radiasi akibat ionisasi. Selain itu, besar energi radiasi juga mempengaruhi nilai dosis serap, dimana semakin besar energi radiasi maka nilai dosis serap akan semakin tinggi, karena radiasi dengan energi yang lebih besar dapat melakukan penetrasi lebih dalam menuju kedalaman dosis maksimum (Z_{maks}) (Podgorsak, 2005). Hasil ini sesuai dengan penelitian (Junaedi, et al., 2016), bahwa semakin tebal bahan bolus maka dosis serap semakin menurun dan nilai dosis permukaan juga akan menurun.

Berdasarkan hasil penelitian, bolus yang lebih baik digunakan untuk energi 6 MeV dan 9 MeV adalah bolus *silicone rubber* ketebalan 0,5 cm, karena nilai dosis serapnya lebih mendekati nilai dosis serap tanpa bolus. Pada energi 9 MeV, bolus plastisin ketebalan 0,5 cm juga cukup baik digunakan namun harus memperhatikan teksturnya. Bolus *playdough* tidak dianjurkan digunakan untuk pengobatan dengan metode fraksi harian, karena tekstur bolus *playdough* yang mudah berubah menjadi lunak dan tidak tahan lama, namun bolus *playdough* tetap dapat digunakan dalam radioterapi dengan tujuan melindungi jaringan sehat di sekitar kanker.

IV. KESIMPULAN

Bolus *playdough*, plastisin, dan *silicone rubber* yang telah dibuat memiliki susunan bahan yang homogen dengan nilai RED yang didapat berada di atas RED air. Densitas fisis bolus *playdough* dan bolus plastisin berada di atas densitas jaringan kulit namun lebih rendah dari jaringan tulang, sedangkan densitas fisis bolus *silicone rubber* mendekati densitas air, jaringan otot, hati, ginjal, dan paru-paru. Nilai dosis serap bolus *silicone rubber* ketebalan 0,5 cm lebih mendekati nilai dosis serap saat tanpa bolus, sehingga bolus yang lebih baik digunakan untuk energi 6 MeV dan 9 MeV adalah bolus *silicone rubber* dibandingkan dengan bolus *playdough* dan plastisin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak diklit Rumah Sakit Universitas Andalas, fisikawan medis, dan staf Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Universitas Andalas yang telah mengizinkan, membantu, serta menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, J. D., Cooney, T., Demehri, F., Stalneck, A., Georgas, D., Yin, F. F., dan Kirkpatrick., 2017, 'Characterization of Water-Clear Polymeric Gels for Use as Radiotherapy Bolus', *Technology in Cancer Research and Treatment*, Vol. 16, No. 6, pp. 923–929.
- BAPETEN, 2018, Peraturan BAPETEN Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- Carina, C. C. C., Sekartaji, G., Aisyah, S., Nazara, T., Nainggolan, A., & Endarko, E., 2020, 'Evaluation of Dosimetric Characterization of Homemade Bolus for Radiation Therapy', *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1505, No. 1, pp. 1-7.
- Chantika, L., Hanif, V. F., Defira, E., Oktamuliani, S., Muttaqin, A., & Ilyas, M., 2022, 'Comparison of Absorbed Dose in Plasticine Bolus and Silicone Rubber Bolus', *Journal of Physics: Theories and Applications*, Vol. 6, No. 1, pp. 25-33.
- Endarko, E., Aisyah, S., Carina, C. C. C., Nazara T., Sekartaji, G., & Nainggolan, A., 2020, 'Evaluation of Dosimetric Properties of Handmade Bolus for Megavoltage Electron and Photon Radiation Therapy', *J Biomed Phys Eng*, Vol. 11 No. 6, pp. 735-746.
- Jaafar, A.M., Elsayed, H., Khalil, M.M., Yaseen, M.N., Alshewered, A. & Ammar, H., 2022, 'The Influence of Different kVs and Phantoms on Computed Tomography Number to Relative Electron Density Calibration Curve for Radiotherapy Dose Calculation', *Precision Radiation Oncology*, Vol. 6, No. 4, pp. 289–297
- Jaya, G. W., Sutanto, H., Hidayanto, E., & Saraswati, G. P., 2020, 'Studi Penggunaan Bolus Berbahan Silicone Rubber terhadap Dosis Permukaan pada Radioterapi Berkas Elektron', *Progressive Physics Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 15-19.
- Junaedi, D., Setiawati, E., Arifin, Z., & Ramantisa, S., 2016, 'Analisis Penggunaan Polydimethyl Siloxane sebagai Bolus dalam Radioterapi Menggunakan Elektron 8 Mev pada LINAC', *Youngster Physics Journal*, Vol. 5, No. 4, pp. 391-398.
- Khan, F. M., 2003, *The Physics of Radiation Therapy*, Edisi Ketiga, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Nagata, K., Lattimer, J. C., & March, J. S., 2012, 'The Electron Beam Attenuating Properties of Superflab, Play-Doh, And Wet Gauze, Compared to Plastic Water', *Veterinary Radiology and Ultrasound*, Vol. 53, No. 1, pp. 96–100.
- Podgorsak, E.B., 2005, *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*, IAEA, Vienna.
- Sutanto, H., Hidayanto, E., Jaya, G. W., Astuti, S. Y., & Supratman, A. S., 2018, *Bolus Berbahan Silicone dan Natural Rubber dan Aplikasi pada Radioterapi*, Karakterisasi, Undip Press, Semarang.