

Pembuatan dan Karakterisasi Bolus Berbahan *Silicone Rubber RTV 00A*

Dewi Fajriani¹, Afdhal Muttaqin^{1*}, Muhammad Ilyas²

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

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

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 20 Mei 2024
Direvisi: 26 Juni 2024
Diterima: 06 September 2024

Kata kunci:

RTV 00A
Percentage Surface Dose (PSD)
Relative electron density (RED)
sifat fisis
sifat mekanik

Keywords:

RTV 00A
PSD
RED
physical properties
mechanical properties

Penulis Korespondensi:

Dewi Fajriani
Email:
afdhalmuttaqin@sci.unand.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi bolus berbahan *Silicone Rubber RTV 00A* dengan komposisi *clear catalyst* 4%. Bolus dibuat dengan ukuran (15x15) cm dengan ketebalan 1,0 cm. Setiap sampel bolus dikarakterisasi untuk memperoleh sifat fisis (densitas dan daya serap air), sifat mekanik (kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas), *Relative Electron Density* (RED), *Percentage Surface Dose* (PSD), serta dosis serap. Nilai RED didapatkan melalui citra tomografi menggunakan CT-Simulator dengan menentukan 5 titik *Region of Interest* (ROI). Nilai PSD, dan dosis serap diukur menggunakan detektor *plan parallel chamber* dengan energi 9 MeV. Bolus memiliki densitas sebesar $(0,815 \pm 0,150)$ g/cm³ dan daya serap air sebesar $(12,42 \pm 0,01)\%$, dan kekuatan tarik sebesar $(0,286 \pm 0,091)$ MPa, *elongasi* sebesar $(22,93 \pm 0,22)\%$, modulus elastisitas sebesar $(5,880 \pm 11,52)$ MPa. Nilai RED sebesar $(1,114 \pm 0,021)$ g/cm³ menghasilkan PSD pada energi 9 MeV sebesar 132,40% dan dosis serap 233,82 cGy. RTV 00A dapat dikembangkan sebagai bahan dasar bolus.

The manufacture and characterization of boluses made from Silicone Rubber RTV 00A with 4% clear catalyst composition have been carried out. The bolus was made with a size of (15x15) cm and the thickness of 1.0 cm. Each bolus sample was characterised to obtain physical properties (density and water absorption capacity), mechanical properties (tensile strength, strain, and elastic modulus), Relative Electron Density (RED), Percentage Surface Dose (PSD), and absorbed dose. RED value were obtained through tomographic images using a CT-Simulator by determining 5 Region of Interest (ROI) points. PSD and absorbed dose values were measured using a plan parallel chamber detector with energy of 9 MeV. The bolus has a density of (0.815 ± 0.150) g/cm³ and water absorption of $(12.42 \pm 0.01)\%$, tensile strength of (0.286 ± 0.091) MPa, an elongation of $(22.93 \pm 0.22)\%$, and an elastic modulus of (5.880 ± 11.52) MPa. The RED value of (1.114 ± 0.021) g/cm³ a PSD of 132.40% and an absorbed dose of 233.82 cGy in energy of 9 MeV. RTV 00A can be developed as a bolus base material.

Copyright © 2024 Author(s).

I. PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk terapi kanker memanfaatkan radiasi pengion. Salah satu alat penghasil radiasi pengion yaitu *Linear Accelerator* (LINAC) yang dapat menghasilkan berkas radiasi elektron dan foton dengan level energi tinggi. Pada kasus khusus seperti kanker permukaan kulit, terapi yang dilakukan umumnya menggunakan berkas elektron. Pancaran dosis radiasi yang diterima dari berkas elektron belum mampu memberikan dosis permukaan secara maksimal dikarenakan adanya efek *skin sparing* (Jaya dkk., 2020). Efek *skin sparing* ini memberikan dosis yang kecil pada permukaan kulit daripada di bawah permukaan kulit (Podgorsak, 2005). Oleh karena itu, untuk mengurangi risiko akibat efek *skin sparing*, permukaan kulit harus dilapisi suatu material dengan ketebalan tertentu yang memiliki karakteristik yang sama dengan jaringan tubuh, material ini dikenal dengan nama bolus (Podgorsak, 2004).

Umumnya, bolus dibuat dari bahan lilin (*paraffin wax*), *playdough*, dan *red plasticine* (Endarko et al., 2021), *natural rubber* (Sutanto dkk., 2018), komposit silika (Astuti dkk., 2018), plastisin (Fitriani et al., 2022); Pramita dkk., 2023), *polydimethyl siloxane* (Junaedi dkk., 2016), tembaga (Fathin et al., 2021), *besswax* dan *petroleum jelly* (Desy-Skripsi, n.d.), *alginate* (Guswanto et al., 2020), dan *silicone rubber*. *Silicone Rubber* (SR) adalah polimer sintesis yang berasal dari bahan *polydimethyl siloxane* (PDMS) yang secara kimia dapat ditulis dengan rumus $[C_2H_6SiO]$. Salah satu jenis SR yang digunakan sebagai pembuatan bolus yaitu *Room Temperature Vulcanizing* (RTV). SR jenis RTV yang telah digunakan dibedakan meliputi, SR jenis RTV-5, RTV-48, RTV-52, dan RTV-00A. Jenis RTV yang digunakan pada penelitian ini yaitu RTV 00A.

Pengembangan bolus berbahan SR dilakukan untuk memperoleh bolus SR yang lebih lentur, sehingga bolus SR bisa langsung digunakan untuk tubuh. Beberapa penelitian SR RTV-52 telah dilakukan untuk mengkarakterisasi sifat-sifat dari bolus, seperti yang dilakukan oleh (Tampubolon dkk., 2019) dengan hasil menunjukkan bahwa sifat fisis yaitu densitas sebesar $(2,091 \times 10^3) \text{ kg/m}^3$, porositas sebesar 9,82%, daya serap air 1,66%, sifat mekanik yaitu kekuatan tarik sebesar 3,37 MPa, *elongasi* 45,82%, modulus elastisitas 0,816 MPa, nilai RED sebesar 1,25, dan nilai PSD pada energi 8 MeV sebesar 101%, dan 10 MeV sebesar 108,01%, dibandingkan dengan (Sianturi dkk., 2022) nilai sifat mekanik didapatkan yaitu kekuatan tarik sebesar 3,734 MPa, modulus elastisitas sebesar 0,8252 MPa, nilai RED yaitu 1,251, dan untuk nilai PSD pada energi 8 MeV sebesar 106,92%, tetapi berbeda dengan (Hidayanto dkk., 2022) nilai RED yang didapatkan sebesar $1,176 \pm 0,019$ dengan rasio 73:1, dan nilai PSD untuk energi 5 MeV dan 7 MeV berturut-turut sebesar $112,52 \pm 0,16\%$ dan $111,14 \pm 0,03\%$, dan dibandingkan yang dilakukan oleh (Jaya dkk., 2020) nilai dosis serap untuk energi 5 MeV dan 7 MeV didapatkan berturut-turut sebesar 2,12 Gy, dan 2,06 Gy.

SR RTV 00A sebagai RTV terbaru secara industri dan sebelumnya memiliki tingkat kelenturan yang lebih baik dari SR yang lain, sehingga kemungkinan memiliki sifat yang lebih baik sebagai bolus. SR jenis RTV 00A digunakan untuk membuat cetakan serta gips, menyegel sambungan dan celah, merekatkan bahan, membuat komponen elektronik, isolasi kabel listrik, dan membuat gasket serta segel. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan pembuatan dan pengujian karakterisasi bolus berbahan SR RTV 00A. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 225 ml SR RTV 00A pada *clear catalyst* 4% sesuai dengan petunjuk dikemasan RTV. Karakterisasi sifat fisis bolus yang diuji meliputi densitas, dan daya serap air, sifat mekanik yang diuji mencakup kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Bolus dianalisis dengan CT-Scan untuk mendapatkan nilai RED, nilai PSD, dan nilai dosis serap bolus menggunakan elektron pada energi 9 MeV.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Departemen Fisika Unand, Laboratorium Mekanika Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang, dan Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pendidikan Unand. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Linear Accelerator* (LINAC), *CT-Simulator*, elektrometer, *ionizing chamber plan parallel*, slab fantom, mikrometer sekrup, jangka sorong, gelas kimia 500 ml, gelas ukur 10 ml, *Universal Testing Machine* (UTM), timbangan analitik, cetakan spesimen uji tarik, cetakan bolus ukuran $(15 \times 15 \times 1) \text{ cm}^3$, *mixer*, kuas dan spatula. Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah *silicone rubber* RTV 00A, *clear catalyst* 40R, *plactic wrap*, dan *silicone oil*.

2.1 Pembuatan Bolus *Silicone Rubber*

Pembuatan bolus SR dengan metode *sol-gel* yaitu dengan menggunakan komposisi sebanyak 225 ml SR RTV 00A yang akan dicampurkan dengan 4% *clear catalyst* 40 R. Proses pencampuran SR dengan katalis menggunakan *mixer* selama lebih kurang 6 menit seperti yang dilakukan oleh (Jaya dkk. (2020). Setelah tercampur dengan rata, hasil pencampuran dituangkan ke dalam cetakan kaca yang bagian dalamnya telah diolesi oleh *silicone oil*, dan didiamkan selama kurang lebih 24 jam atau sampai sampel mengeras secara merata. Bolus dibuat dengan ketebalan 1,0 cm. Sampel yang telah mengeras diangkat dan siap untuk dilakukan pengujian.

2.2 Karakterisasi Sifat Fisis

Karakteristik sifat fisis bolus yang diuji adalah densitas (Kajai & Barat, 2020) dan daya serap air. Penentuan densitas dilakukan dengan menimbang dan mengukur volume sampel bolus untuk menentukan kerapatan komposisinya. Nilai sifat fisis densitas bolus dihitung dengan menggunakan Persamaan (1) (Ardiati, 2016).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

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

Penentuan daya serap air dilakukan untuk mengukur kapasitas bolus dalam menyerap air. Daya serap air dilakukan dengan menimbang sampel bolus sebelum dan setelah direndam dalam air selama 5 menit. Nilai daya serap air dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) (Zamhir dkk., 2021).

$$\text{Daya Serap Air (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100\% \quad (2)$$

dengan, A adalah berat sampel sebelum direndam (g), dan B adalah berat sampel sesudah direndam (g).

2.3 Karakterisasi Sifat Mekanik

Karakterisasi sifat mekanik dilakukan menggunakan alat uji tarik yaitu *Universal Testing Machine* (UTM) dengan standart ASTM D638M pada jenis specimen tipe I. Pengujian untuk mendapatkan kuat tarik, *elongasi*, dan modulus elastisitas. Bentuk spesimen bolus SR dibuat berbentuk tulang kemudian ditarik sebanyak tiga kali dengan kecepatan 5 mm/s. Hasil pengukuran uji tarik didapatkan nilai pertambahan gaya, dan pertambahan panjang. Nilai sifat mekanik dihitung dengan menggunakan Persamaan (3), Persamaan (4), dan Persamaan (5) (Utomo, 2015).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (4)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5)$$

dengan, σ adalah tegangan (MPa), F adalah gaya tarikan (N), A adalah luas penampang (m^2), ε adalah *engineering strain* (%), ΔL adalah pertambahan panjang spesimen (m), L_0 adalah panjang awal spesimen (m), E adalah modulus elastitas (MPa), dan ε adalah *engineering strain* (%).

2.4 Pengambilan Citra Tomografi dan Penentuan *Relative Electron Density* (RED)

Penentuan nilai RED dilakukan di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas dengan melakukan pengambilan citra tomografi bolus menggunakan CT-Simulator bertegangan 120 kV dan arus 200 mA. Hasil citra tomografi bolus dikirim ke komputer *Treatment Planning System* (TPS) untuk membuat lima titik *Region of Interest* (ROI), untuk mendapatkan nilai RED. Nilai RED dihitung menggunakan Persamaan (6), dan Persamaan (7) (Sutanto dkk., 2018).

$$\rho_a = 1,052 + 0,00048 Nct \quad (6)$$

$$\rho_b = 1,000 + 0,001 Nct \quad (7)$$

dengan, ρ_a adalah nilai RED jika nilai Nct yang lebih besar dari 100, ρ_b adalah nilai RED jika nilai Nct lebih kecil dari 100, dan Nct adalah nilai CT-Number.

2.5 Penentuan *Percentage Surface Dose* (PSD)

Pengukuran PSD dilakukan di Instalasi Radioterapi RS Pendidikan Universitas Andalas. Pengukuran ini menggunakan radiasi elektron LINAC model Clinax CX dengan luas lapangan aplikator

(10×10) cm². Detektor *plan parallel chamber* ditempatkan pada LINAC tanpa bolus untuk pengukuran dosis awal. Penyinaran dilakukan dengan menggunakan energi elektron 9 MeV. Bolus kemudian diletakkan di atas slab fantom dekat d_{max} . Hasil pengukuran dosis radiasi ditampilkan pada elektrometer dalam nanocoulomb (nC). Nilai PSD dihitung dengan Persamaan (8), dan Persamaan (9) (Gunham dkk., 2003).

$$P_A = \frac{D_{SA}}{D_M} \times 100\% \quad (8)$$

$$P_B = \frac{D_{SB}}{D_M} \times 100\% \quad (9)$$

dengan, P_A adalah persentase dosis permukaan yang diukur tanpa bolus (%), P_B adalah persentase dosis permukaan yang diukur menggunakan bolus (%), D_{SA} adalah dosis radiasi yang diukur pada permukaan solid phantom tanpa bolus (cGy), D_{SB} adalah dosis radiasi yang diukur pada permukaan solid phantom menggunakan bolus (cGy), dan D_M adalah dosis radiasi yang diukur pada posisi d_{max} tanpa bolus (cGy).

2.6 Penentuan Dosis Serap Bolus

Penentuan dosis serap dimulai dengan menentukan dosis kedalaman maksimum (Z_{maks}) untuk energi 9 MeV dengan Z_{maks} sebesar 2,2 cm, Slab fantom dengan ketebalan yang disesuaikan dengan Z_{maks} kemudian diletakkan di atas meja pemeriksaan dengan *Source Surface Distance* (SSD) diatur dengan jarak 100 cm dari permukaan fantom. Kemudian detektor *plan parallel chamber* dihubungkan dengan elektrometer dan diletakkan pada kedalaman dosis maksimum fantom (d_{max}). Selanjutnya, pengukuran dosis serap pada fantom dilakukan tanpa menggunakan bolus dan menggunakan bolus secara bergantian. Hasil pengukuran dosis serap bolus ditampilkan pada elektrometer dengan satuan Gray (Gy).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil Sintetis Bolus *Silicone Rubber*

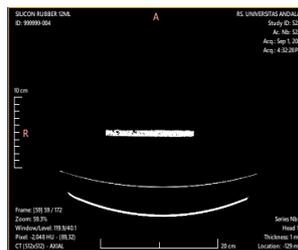
Pada penelitian ini bolus berhasil dibuat dan dapat dilihat pada Gambar 1. Sampel bolus SR dengan *clear catalyst* 4% memiliki permukaan yang tidak rata dan terbentuk gelembung udara pada permukaannya. Hal ini diakibatkan pada proses pembuatan bolus cepat mengering sehingga tidak sempat untuk meratakan permukaan bolus untuk *clear catalyst* 4%. Bolus ini memiliki tekstur yang padat, kaku, dan tidak lengket dikulit.



Gambar 1 Hasil Sintetis Bolus SR dengan *clear catalyst* 4%

3.2 Hasil Citra Tomografi Bolus *Silicone Rubber*

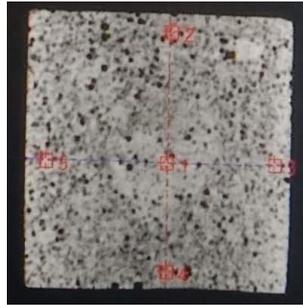
Gambar citra tomografi bolus yang diperoleh dari CT-Scan dapat dilihat pada Gambar 2. Terlihat bahwa bolus SR RTV 00A dengan *clear catalyst* 4% terlihat kurang homogen, masih terdapat bintik-bintik hitam yang menunjukkan gelembung udara pada setiap permukaannya. Gambar CT-Scan yang ditunjukkan oleh bolus SR dengan *clear catalyst* 4% ini memiliki nilai *Hounsfield Unit* (HU) sebesar 134.



Gambar 2 Hasil Citra Tomografi Bolus SR *clear catalyst* 4%

3.3 Pembuatan 5 Titik ROI pada Bolus

Gambar pembuatan 5 Titik ROI diperoleh dari hasil citra tomografi bolus melalui *Treatment Planning System* (TPS) dapat dilihat pada Gambar 3. Hal ini menunjukkan hasil CT-Scan masih terdapat bintik-bintik hitam yang menunjukkan gelembung udara, sehingga terlihat tidak homogen. Bolus yang terdapat gelembung udara disebabkan karena pada proses pembuatan masih ada udara yang terperangkap didalam bolus. Tabel 1 Nilai CT-Number bolus SR RTV 00A memperlihatkan nilai bolus pada *clear catalyst* 4%. Nilai 5 titik ROI bolus SR RTV 00A *clear catalyst* 4% dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Hasil Pembuatan 5 Titik ROI bolus SR dengan *clear catalyst* 4

Tabel 1 Nilai CT-Number bolus SR RTV 00A

No	ROI	CT-Number (HU)
1	ROI 1	144
2	ROI 2	81
3	ROI 3	160
4	ROI 4	118
5	ROI 5	166
6	$\bar{x} \pm \Delta x$	$133,8 \pm 34,9$

3.4 Karakterisasi Bolus Silicone Rubber

Berdasarkan karakterisasi bolus *silicone rubber* RTV 00A pada *clear catalyst* 4% diperoleh nilai sifat yang telah dilakukan pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel tersebut menunjukkan nilai karakterisasi bolus *silicone rubber* RTV 00A yang diperoleh dari campuran *clear catalyst* 4%.

Tabel 2 Nilai Karakterisasi Bolus SR RTV 00A

No	Sifat Yang Diuji	Nilai	Satuan
1	Densitas	$0,815 \pm 0,150$	g/cm^3
2	Daya Serap Air	$12,42 \pm 0,01$	%
3	Kekuatan Tarik	$0,286 \pm 0,091$	MPa
4	<i>Elongasi</i>	$22,93 \pm 0,22$	%
5	Modulus Elastisitas	$5,880 \pm 11,52$	MPa
6	RED	$1,114 \pm 0,021$	g/cm^3
7	PSD (9 MeV)	132,40	%
8	Dosis Serap (9 MeV)	233,82	cGy

Tabel 2 menunjukkan nilai karakterisasi diperoleh dari bolus SR RTV 00A pada *clear catalyst* 4%. Nilai densitas fisis bolus pada penelitian ini memiliki nilai yang lebih tinggi dari nilai densitas paru-paru (exhale) yaitu sebesar $0,495 \text{ g/cm}^3$ tetapi lebih rendah dari nilai densitas tulang padat yaitu sebesar $1,609 \text{ g/cm}^3$. Penelitian yang dilakukan oleh (Tampubolon dkk., 2019) nilai densitas bolus pada ketebalan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm memiliki nilai densitas lebih tinggi dari densitas tulang padat yaitu $1,409 \times 10^3 \text{ kg/cm}^3$ hingga $2,09 \times 10 \text{ kg/cm}^3$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai densitas yang diperoleh pada *clear catalyst* 4% sebesar $0,815 \pm 0,150 \text{ g/cm}^3$. Secara teori, nilai densitas bolus *silicone rubber* RTV yaitu $1,1 \text{ g/cm}^3$. Nilai densitas secara teori tidak jauh berbeda dengan nilai densitas pada penelitian. Hal ini dipengaruhi oleh komposisi *clear catalyst* yang diberikan, dan tingkat kerapatan bolus.

Tampubolon dkk. (2019) telah melakukan penelitian mengenai nilai daya serap air bolus *silicone rubber* RTV 52 pada ketebalan 5 mm, 10 mm, dan 15 mm memiliki nilai daya serap air lebih rendah yaitu sebesar 2,02%, 1,78%, dan 1,66% dibandingkan nilai daya serap air bolus *silicone rubber* RTV 00A sebesar $12,42 \pm 0,01\%$. Bolus *silicone rubber* RTV 00A memiliki daya serap air yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada bolus SR dengan *clear catalyst* 4% masih memiliki banyak rongga udara sehingga bolus ini diisi dengan air. Adanya rongga udara pada bolus dapat berefek terjadinya pemantulan.

Nilai sifat mekanik pada penelitian ini memiliki nilai lebih rendah yaitu nilai kekuatan tarik sebesar $(0,286 \pm 0,091)$ MPa, elongasi sebesar $(22,93 \pm 0,22)$ %, dan modulus elastisitas sebesar $(5,880 \pm 11,52)$ MPa, tetapi lebih tinggi dibandingkan sifat mekanik bolus *silicone rubber* RTV 52 pada ketebalan 15 mm yaitu nilai kekuatan tarik sebesar 3,734 MPa, elongasi sebesar 45,82%, dan modulus elastisitas sebesar 0,816 MPa (Tampubolon dkk., 2019). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Afrina Sianturi dkk., 2022) bolus *silicone rubber* RTV 52 didapatkan nilai sifat mekanik pada ketebalan 15 mm yaitu kekuatan tarik sebesar 3,734 MPa, dan modulus elastisitas sebesar 0,8252 MPa. Perbedaan nilai sifat mekanik ini, disebabkan karena penggunaan jenis SR yang berbeda-beda dengan menunjukkan sifat-sifat SR jenis RTV. Jika dibandingkan dengan RTV-52, RTV-48, dan RTV-5 pada RTV-00A ini memiliki bahan dengan tingkat elastisitas yang sangat tinggi, RTV-5 memiliki bahan dengan tingkat elastisitas yang tinggi, RTV-48 memiliki bahan dengan tingkat elastisitas sedang, sedangkan RTV-52 memiliki bahan dengan tingkat elastisitas yang rendah.

Nilai RED bolus SR RTV 00A memiliki nilai yang rendah yaitu $1,114 \pm 0,021$ g/cm³, tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan nilai RED bolus SR RTV-5 sebesar 1,176 g/cm³ (Sutanto dkk., 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Astuti dkk., 2018) nilai RED bolus SR RTV 52 yaitu 1,186 g/cm³ memiliki nilai yang sama dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sutanto dkk., 2018) sebesar 1,186 g/cm³. Jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Tampubolon dkk., 2019) nilai RED bolus SR RTV 52 memiliki nilai RED yang lebih tinggi sebesar 1,251 g/cm³, tetapi nilai RED bolus SR RTV 52 memiliki nilai yang rendah yaitu 1,020 g/cm³ (Fathin dkk., 2021), sedangkan nilai RED bolus SR RTV 52 memiliki nilai yang lebih rendah pada ketebalan 0,5 cm hingga 1,5 cm yaitu sebesar 0,897 g/cm³ hingga 0,997 g/cm (Nazara, 2020). Perbedaan nilai RED bolus disebabkan oleh perbedaan jenis RTV, komposisi bahan digunakan antara sampel jaringan lunak dan bolus.

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Fathin dkk., 2021) nilai PSD bolus SR RTV 52 pada energi 8 MeV sebesar 95,66%, memiliki nilai PSD yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai PSD bolus SR RTV 52 pada energi 8 MeV dan 10 MeV yaitu 101% dan 108,1% (Tampubolon dkk., 2019). Jika dibandingkan dengan nilai PSD bolus SR RTV-5 pada energi 8 MeV dan 10 MeV memiliki nilai yang lebih rendah sebesar 102,32% dan 101,32% (Sutanto dkk., 2019), tetapi nilai PSD bolus SR RTV 52 pada energi 8 MeV memiliki nilai yang lebih tinggi sebesar 106,92% (Afrina Sianturi dkk., 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Ooi dkk., 2004) nilai PSD bolus SR RTV 52 pada energi 9 MeV dan 12 MeV sebesar 96,73% dan 99,76% memiliki nilai yang lebih rendah, jika dibandingkan dengan bolus SR RTV 00A pada energi 9 MeV yaitu sebesar 132,40%. Penggunaan PSD pada setiap energi mengalami peningkatan hingga 100%. Hal disebabkan karena kepadatan suatu material bolus tidak sama, sehingga nilai dosis pada kedalaman maksimum (d_{max}) mendapatkan nilai dosis yang diterima lebih tinggi ketika menggunakan bolus.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Nazara, 2020) dosis serap bolus SR RTV 52 pada energi 6 MeV, 9 MeV, 12 MeV memiliki nilai dosis serap yang lebih rendah sebesar 0,98 Gy, 0,99 Gy, dan 1,5 Gy, dibandingkan dengan nilai dosis serap bolus SR RTV 52 pada energi 9 MeV dan 12 MeV sebesar 127,3 cGy dan 135,6 cGy (Chantika dkk., 2022), pada penelitian yang dilakukan oleh (Pramita dkk., 2023) nilai dosis serap pada energi 6 MeV dan 9 MeV sebesar 128,30 cGy dan 146,87 cGy, tetapi pada bolus SR RTV 00A memiliki nilai dosis serap yang lebih tinggi pada energi 9 MeV yaitu 233,82 cGy. Agar dapat dijadikan percobaan upaya untuk menghilangkan gelembung-gelembung udara pada permukaan.

IV. KESIMPULAN

Bolus yang terbuat dari *silicone rubber* RTV 00A dengan *clear catalyst* 4% yang telah dibuat memiliki susunan bahan yang tidak terlalu homogen. Jika dibandingkan dengan densitas jaringan tubuh, densitas fisis bolus *silicone rubber* berada dibawah densitas air, tetapi lebih tinggi dari densitas paru-paru (*inhale*), densitas paru-paru (*exhale*), dan densitas fisis bolus mendekati densitas payudara (0,991

g/cm³). Karakterisasi sifat fisis bolus SR pada *clear catalyst* 4% untuk nilai densitas sebesar $0,815 \pm 0,150$ g/cm³, dan daya serap air sebesar $0,763 \pm 0,186\%$. Karakterisasi sifat mekanik untuk kekuatan tarik sebesar $0,29 \pm 0,09$ MPa, *elongasi* sebesar $22,93 \pm 0,22\%$, dan modulus elastisitas sebesar $5,880 \pm 11,52$ MPa. Nilai RED yang diperoleh sebesar $1,114 \pm 0,021$ g/cm³, nilai PSD sebesar 132,40%, dan nilai dosis serap sebesar 233,82 cGy

V. SARAN

Untuk mengurangi terbentuknya gelembung udara pada permukaan bolus, maka diperlukan penambahan *clear catalyst*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak Rumah Sakit Pendidikan Universitas Andalas, kakak Fiqi Diyona, S.Si, staf Instalasi Radioterapi, Politeknik Negeri Padang, Bapak Nusyirwan, S.T., M.T yang telah mengizinkan, membantu, serta menyediakan sarana dan prasarana sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiati, M. (2016). Sintesis dan Karakterisasi Komposit Polyester Serat Daun Lontar dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Kalium Permanganat (KMnO₄) [Skripsi]. Universitas Airlangga, 16.
- Astuti, S. Y., Sutanto, H., Hidayanto, E., Jaya, G. W., Supratman, A. S., & Saraswati, G. P. (2018b). Characteristics of Bolus Using Silicone Rubber with Silica Composites for Electron Beam Radiotherapy. *Journal of Physics and Its Applications*, 1(1), 24. <https://doi.org/10.14710/jpa.v1i1.3914>
- Endarko, E., Aisyah, S., Carina, C. C. C., Nazara, T., Sekartaji, G., & Nainggolan, A. (2021). Evaluation of dosimetric properties of handmade bolus for megavoltage electron and photon radiation therapy. *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 11(6), 735–746. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.2004-1108>
- Fathin, H. A., Sutanto, H., & Hidayanto, E. (2021). Fabrication of Bolus from Composite of Silicone Rubber (SR)-Copper (Cu) for Radiotherapy Application. *International Journal of Science and Research*, 10(6), 730–734. <https://doi.org/10.21275/SR21608081053>
- Fitriani, R., Subagiada, K., Mulyono, S., Stevenly, R. J., & Suryaningsih, S. (2022). Analisis Penggunaan Bolus Berbahan Plastisin pada Pasien Fibrosarcoma dengan Treatment Planning System (TPS). *Progressive Physics Journal*, 3(1), 100. <https://doi.org/10.30872/ppj.v3i1.818>
- Guswantoro, T., Supratman, A. S., & Asih, I. S. (2020). Karakterisasi Alginat Sebagai Bahan Setara Dengan Jaringan Lunak Untuk Radioterapi. *Jurnal EduMatSains*, 4(2), 125–138.
- Jaya, G. W., Sutanto, H., Hidayanto, E., & Saraswati, G. P. (2020a). *Progressive Physics Journal*. *Progressive Physics Journal*, 1(2017), 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. In *Youngster Physics Journal* (Vol. 5, Issue 4).
- Kajai, N., & Barat, P. (2020). Universitas andalas padang 2020.
- Ooi, L. S. M., Sun, S. S. M., Wang, H., & Ooi, V. E. C. (2004). New mannose-binding lectin from the rhizome of sarsaparilla *Smilax glabra* Roxb. (Liliaceae). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(20), 6091–6095. <https://doi.org/10.1021/jf030837o>
- Sutanto, H., Hidayanto, E., Wiratama, G. J., Astuti, S. Y., & Suparman, A. S. (2018). Bolus Berbahan Silicone.
- Sutanto, H., Marhaendrajaya, I., Jaya, G. W., Hidayanto, E., Supratman, A. S., Astuti, S. Y., Budiono, T., & Firmansyah, M. A. (2019). The Properties of Bolus Material using Silicone Rubber. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/622/1/012002>