

ANALISIS PENGGUNAAN *POLYDIMETHYL SILOXANE* SEBAGAI BOLUS DALAM RADIOTERAPI MENGGUNAKAN ELEKTRON 8 MeV PADA LINAC

Dodi Junaedi¹⁾, Evi Setiawati¹⁾, Zaenal Arifin¹⁾ dan Sanggam Ramantisa²⁾

¹⁾Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾Rumah Sakit Kersaras, Semarang

E-mail : dodijunaedi@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Percentage depth dose at the Linac has not reached 100% on the surface and should be made an effort to treat skin cancer or skin cancer that is closer to the surface so that the maximum dose obtained cancer, one of the efforts is the use of bolus. The research reviewer feasibility of using polydimethylsiloxane as materials bolus in radiotherapy. Bolus made with a thickness of 3, 6, 9 and 12 mm with a size of 11x11 cm², tomography image is then taken using a CT-scan to determine the CT-number that is used to calculate the density and compared to the density of mass and volume ratio. Bolus irradiated with electron 8 MeV at 100 MU for 60 seconds and measured the dose absorbed at a depth of 0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 and 2.5 cm. The result of the calculation using the CT-number density is 1.24 ± 0.02 g / cm³ and the density calculation results using the ratio of the mass and volume was 1.25 ± 0.01 g / cm³. Absorbed dose at the surface with the use of a bolus of 3, 6, 9 and 12 mm by 82.09%; 85.13%, 89.12% and 93.48%, while without using bolus which showed the value of absorbed dose amounted to 78.23%. Absorbed dose at a depth of 2.5 cm with the use of a bolus of 3, 6, 9 and 12 mm by 79.84%; 49.26%; 34.52% and 17.80%, while without using bolus which showed the value of absorbed dose amounted to 88.68%. These results show the density of the bolus polydimethyl siloxane has similarities with soft tissue density and may increase the dose of the surface and reduce the dose depth so polydimethyl siloxane may be one of the reference materials that can be used as a bolus in radiotherapy.

Keywords : Bolus, polydimethylsiloxane, CT-number, density, absorbed dose.

ABSTRAK

Persentase dosis kedalaman pada pesawat *Linac* belum mencapai 100% pada permukaan sehingga harus dilakukan suatu upaya untuk mengobati kanker kulit atau kanker yang mendekati permukaan kulit agar dosis yang didapat kanker maksimal, salah satu upaya yang dilakukan adalah penggunaan bolus. Penelitian ini menilai kelayakan penggunaan *polydimethyl siloxane* sebagai bahan pembuatan bolus dalam radioterapi. Bolus dibuat dengan ketebalan 3, 6, 9 dan 12 mm dengan ukuran 11x11 cm², kemudian diambil citra tomografinya menggunakan *CT-scan* untuk mengetahui *CT-number* yang digunakan untuk menghitung densitasnya dan dibandingkan dengan densitas dari perbandingan massa dan volume. Bolus disinari elektron 8 MeV sebesar 100 MU selama 60 detik dan diukur dosis serapnya pada kedalaman 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 cm. Hasil perhitungan densitas bolus *polydimethyl siloxane* menggunakan *CT-number* adalah $1,24 \pm 0,02$ g/cm³ dan menggunakan perbandingan massa dan volume adalah $1,25 \pm 0,014$ g/cm³. Dosis serap pada permukaan dengan penggunaan bolus 3, 6, 9 dan 12 mm sebesar 82,09 %; 85,13 %, 89,12 % dan 93,48 %, sedangkan tanpa menggunakan bolus yang menunjukkan nilai dosis serap sebesar 78,23 %. Dosis serap pada kedalaman 2,5 cm dengan penggunaan bolus 3, 6, 9 dan 12 mm sebesar 79,84 %; 49,26 %; 34,52 % dan 17,80 %, sedangkan tanpa menggunakan bolus yang menunjukkan nilai dosis serap sebesar 88,68 %. Hasil tersebut menunjukkan densitas bolus *polydimethyl siloxane* memiliki kemiripan dengan densitas jaringan lunak dan dapat meningkatkan dosis permukaan serta mengurangi dosis kedalaman sehingga *polydimethyl siloxane* bisa menjadi salah satu referensi bahan yang dapat digunakan sebagai bolus dalam radioterapi.

Kata kunci : Bolus, *polydimethyl siloxane*, *CT-number*, densitas, dosis serap.

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan suatu metode pengobatan kanker yang memanfaatkan radiasi

pengion [10]. Salah satu penghasil berkas radiasi pengion adalah *Linear Accelerator (Linac)*, yang menghasilkan foton dan elektron berenergi tinggi yang dimanfaatkan untuk

pengobatan [4]. Kasus kanker dalam radioterapi bermacam-macam, mulai dari bentuk, lokasi, ukuran serta jenis kankernya. Lokasi tumbuhnya jaringan kanker bisa didalam tubuh, mendekati permukaan kulit atau tumbuh pada permukaan kulit. Persentase dosis pada permukaan kulit belum 100 %, baru pada kedalaman tertentu dosis maksimum didapat, oleh karena itu diperlukan upaya sedemikian rupa agar jaringan kanker mendapat dosis maksimum sedangkan jaringan normal disekitarnya mendapat dosis minimum. Dosis optimum pada kanker dapat diperoleh dengan melakukan perencanaan dan penggunaan teknik yang tepat. Penggunaan bolus merupakan salah satu teknik yang biasa digunakan dalam radioterapi. Bolus merupakan suatu bahan yang lunak dan tangguh serta memiliki sifat setara jaringan tubuh manusia. Bolus digunakan pada permukaan kulit untuk meningkatkan dosis permukaan, mengurangi dosis kedalaman dan meratakan jaringan yang tidak rata [7].

Saat ini, berbagai bahan yang digunakan sebagai bolus dalam radioterapi memiliki kelebihan dan kekurangan, tapi secara umum untuk menggunakan bahan baru sebagai bolus, kelenturan bahan harus diperiksa, materi harus stabil pada suhu antara 4 °C sampai 52 °C dan sifat dosimetrik serta densitas elektron harus setara dengan air. Faktor dosimetrik dan densitas elektron pada bolus harus diperiksa, karena yang hal tersebut berdampak pada distribusi dosis khususnya pada berkas megavoltage. Selain itu, bolus harus tidak berbau, tidak lengket, dan tidak berbahaya untuk kulit [3].

Penelitian ini menilai kelayakan penggunaan *polydimethyl siloxane* sebagai bahan pembuatan bolus dalam radioterapi. *polydimethyl siloxane* merupakan bahan yang elastis sehingga bisa mengikuti kontur tubuh dan merupakan bahan yang tahan terhadap temperatur yang tinggi sehingga elastisitasnya tetap terjaga meski terjadi perubahan temperatur [6]. Elastisitas dan ketahanan bahan terhadap perubahan temperatur merupakan syarat penting

dalam pemanfaatan suatu bahan untuk bolus, penelitian tentang kelayakan penggunaan *polydimethyl siloxane* bisa menjadi referensi bahan baru yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bolus yang lebih baik dari bahan yang umumnya digunakan sebagai bolus di Indonesia yaitu melamin.

Melamin merupakan bahan yang mudah berubah elastisitasnya karena perubahan temperatur, bentuk bolus berbahan melamin mudah berubah jika ditekan dan tidak kembali seperti semula jika ditekan. Sedangkan bahan *polydimethyl siloxane* tidak mudah berubah bentuk jika ditekan dan kembali ke bentuk semula jika ditekan, sehingga memberikan keuntungan dalam radioterapi sebagai bahan yang lebih baik untuk digunakan sebagai bolus yang berfungsi meningkatkan dosis permukaan dan mengurangi dosis kedalaman sehingga bisa digunakan sebagai alat bantu dalam pengobatan kanker kulit atau kanker yang mendekati permukaan kulit menggunakan radiasi, tetapi selain elastisitasnya dan ketahanan terhadap perubahan temperatur, bolus berbahan *polydimethyl siloxane* harus diperiksa homogenitasnya dan dosis serapnya sehingga dosis yang tersebar merata.

DASAR TEORI

Radioterapi

Radioterapi adalah suatu cara untuk menyembuhkan atau mengurangi rasa sakit pada penderita penyakit kanker dengan menggunakan radiasi pengion. Radiasi pengion adalah jenis radiasi yang dapat mengionisasi atom-atom atau materi yang dilaluinya karena adanya peristiwa ionisasi. Sebagai akibat dari peristiwa ini, akan terbentuk pasangan ion positif dan negatif pada materi yang dilalui radiasi tersebut [1].

Linear Accelerator (Linac)

Linac merupakan pesawat yang menghasilkan sinar-X dan elektron berenergi

tinggi untuk pengobatan. Elektron berenergi tinggi ini dapat digunakan secara langsung, atau digunakan untuk menghasilkan sinar-X. *Linac* menghasilkan sinar-X dengan energi dalam kisaran 4 sampai 6 MeV atau lebih tinggi [4].

Bolus

Bolus adalah bahan yang setara dengan jaringan tubuh manusia, bolus diletakan langsung pada permukaan kulit untuk meratakan kontur pasien yang tidak teratur dan dengan demikian memberikan permukaan yang datar untuk mempermudah melakukan treatment [7]. Dalam berbagai situasi klinis perlu untuk menambah material yang sama dengan jaringan tubuh pada permukaan kulit pasien. Bertujuan untuk memodifikasi dosis kedalaman, mengurangi jangkauan dosis kedalaman agar cocok dengan pengobatan yang diinginkan, untuk mencapai kedalaman yang tidak dapat dicapai oleh energi sinar standar [5].

Dosis serap

Dosis serap adalah jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan persatuan massa bahan itu. Jadi dosis serap merupakan ukuran banyaknya energi yang diberikan oleh radiasi pengion kepada medium. Satuan yang digunakan satuan baru, yaitu gray (Gy). 1 gray (Gy) sama dengan 1 joule/kg, dapat diperoleh hubungan bahwa 1 gray sama dengan 100 Rad. Besaran dosis serap ini berlaku semua jenis bahan yang dikenainya [11].

Detektor Ionisasi Chamber

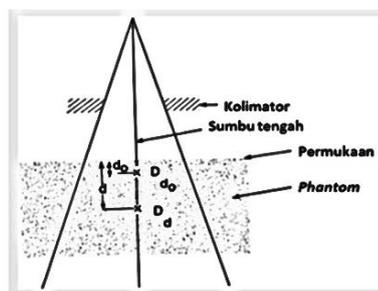
Detektor ionisasi chamber digunakan dalam radioterapi dan radiologi diagnostik untuk menentukan dosis radiasi. Detektor ionisasi chamber dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran, tergantung pada kebutuhan tertentu [7].

Polydimethyl siloxane

Polydimethyl siloxane merupakan kelompok dari polimer silikon organik yang biasa dikenal dengan sebutan silikon. Mempunyai lambang kimia C₂H₆OSi mempunyai bentuk molekul spiral dan ikatan antar molekulnya lemah sehingga memiliki keelastisitan yang tinggi, kompresibilitas yang tinggi dan ketahanan yang tinggi terhadap perubahan temperatur. Lokasi kelompok methyl terletak diluar ikatan struktur sehingga dengan bebas berotasi [8].

PDD (Percentage Depth Dose)

PDD atau persentase dosis kedalaman merupakan distribusi dosis radiasi yang diberikan pada kedalaman utama (d₀) sebagai persentase dari dosis serap pada kedalaman penunjuk (d) didaerah sumbu utama seperti pada gambar 1



Gambar 1 Simulasi *Percentage Depth Dose* (PDD) [4].

Persamaan persentase kedalaman dosis (PDD) adalah

$$PDD = \frac{D_d}{D_{d_0}} \times 100 \quad (1)$$

dengan D_d adalah dosis pada kedalaman d, D_{d0} adalah dosis pada kedalaman d₀ [4].

Densitas

Salah satu sifat penting dari suatu bahan adalah densitasnya, yang didefinisikan sebagai

massa persatuan volume. Densitas memiliki lambang ρ ("rho") yang diambil dari huruf Yunani.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Dengan ρ adalah densitas (kg/m^3), M adalah massa (kg) dan V adalah volume (m^3) [9].

Jika diketahui *CT-number* suatu bahan dari hasil citra tomografi maka densitas bahan tersebut bisa dihitung menggunakan persamaan 3 untuk *CT-number* lebih besar dari 100 dan menggunakan persamaan 4 untuk *CT-number* lebih kecil dari 100

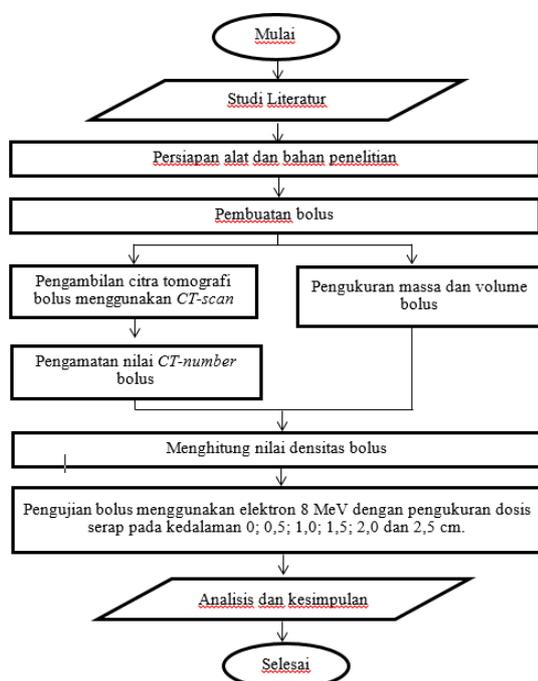
$$\rho = 1,052 + 0,00048 N_{CT} \quad (3)$$

$$\rho = 1,000 + 0,001 N_{CT} \quad (4)$$

dengan ρ adalah densitas (kg/m^3) dan N_{CT} adalah *CT-number* [2].

METODE PENELITIAN

Penelitian "Analisis Penggunaan *Polydimethyl Siloxane* Sebagai Bolus Dalam Radioterapi Menggunakan Elektron 8 MeV pada *Linac*" dilakukan melalui 6 tahap. Berikut diagram alir penelitian yang dilakukan



Gambar 2 Diagram alir penelitian "analisis *Polydimethyl siloxane* sebagai bolus dalam radioterapi menggunakan elektron 9 MeV pada *Linac*"

Pembuatan bolus

Bolus yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari bahan *Polydimethyl siloxane* yang dicampur *hardener* dengan perbandingan 20:1 yang dicetak menggunakan cetakan kaca berbentuk persegi dengan ukuran 11 x 11 cm^2 dan dibuat dengan variasi ketebalan 3 mm, 6 mm, 9 mm dan 1,2 mm.

Mengambilan citra tomografi bolus

Pengambilan citra tomografi bolus menggunakan *CT-scan*. Citra bolus hasil *CT-scan* dikirim ke komputer TPS untuk diamati nilai *CT-number*nya.

Mengamati nilai *CT-number* bolus dan pengukuran massa bolus

Citra hasil *CT-scan* diamati nilai *CT-number*nya menggunakan komputer TPS, pengamatan nilai *CT-number* dilakukan dengan mengambil sample secara axial sebanyak 10 sample dan sagital sebanyak 10 sample. Massa bolus diukur menggunakan timbangan.

Menghitung Nilai Densitas Bolus

Setelah bolus diamati nilai *CT-number* dan dihitung massanya maka tahap selanjutnya adalah menghitung nilai densitas bolus menggunakan *CT-number* yang didapat dan dibandingkan dengan nilai densitas yang diukur secara langsung dengan membandingkan massa dan volumenya.

Pengujian bolus

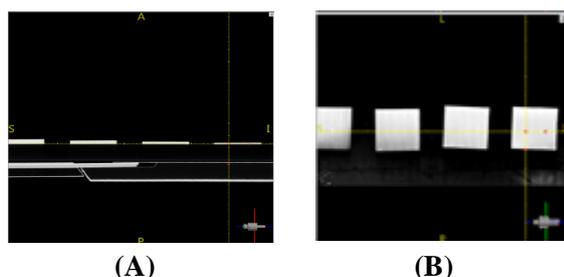
Tahapan berikutnya adalah pengujian bolus dengan pemberian radiasi menggunakan

elektron 8 MeV sebesar 100 MU selama 60 detik, pengukuran dosis serap dilakukan pada kedalaman 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 dan 2,5 cm untuk setiap ketebalan. Sebelum pengukuran dosis serap, terlebih dahulu dilakukan pengukuran suhu pada *phantom* dengan menggunakan termometer dan diukur tekanannya menggunakan barometer, selanjutnya dilakukan pengukuran dosis serap pada tiap kedalaman dengan menggunakan detektor ionisasi *chamber*. Hasil pengukuran dari detektor dibaca nilai *chargenya* dan dihitung nilai dosis serapnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Densitas dengan Menggunakan *CT-number*

Bolus yang akan digunakan pada penelitian ini diambil citranya menggunakan *CT-Scan* untuk mengetahui nilai *CT-number* bolus. Hasil citra *CT-Scan* dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 (A) Citra bolus hasil *CT-Scan* tampak depan, (B) Citra bolus hasil *CT-Scan* tampak atas.

Hasil citra dari *CT-scan* diamati *CT-number*nya, kemudian *CT-number* yang didapat dihitung densitasnya menggunakan persamaan 3.

Hasil yang didapat dengan menggunakan persamaan 3 untuk menghitung densitas bolus *Polydimethyl siloxane* adalah $1,24 \pm 0,02 \text{ g/cm}^3$.

Nilai densitas *Polydimethyl siloxane* yang didapat dari perhitungan *CT-number* berbeda dengan nilai yang tercantum dalam referensi

yaitu sebesar $1,20 \text{ g/cm}^3$, perbedaannya sekitar 1,6 % sampai 5,00 %.

Densitas dengan menggunakan perbandingan massa dan volume bolus

Bolus yang digunakan pada penelitian ini dibuat dengan ukuran $11 \times 11 \text{ cm}^2$. Masing-masing bolus dihitung massa dan volumenya, kemudian densitas bolus dihitung menggunakan persamaan 2.2. Tabel 4.1 menunjukkan data massa dan volume masing-masing bolus yang diamati.

Tabel 4.1 Nilai massa dan volume bolus *Polydimethyl siloxane*

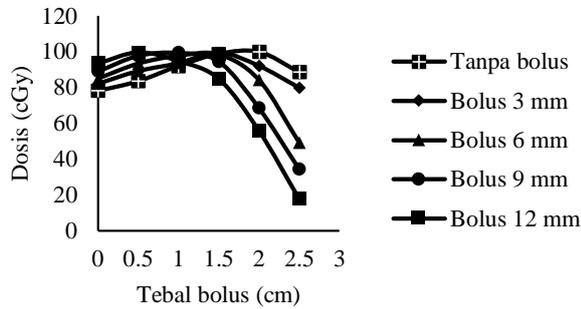
Tebal (mm)	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
3	45,60	36,30	1,26
6	90,68	72,60	1,25
9	134,90	108,90	1,24
12	184,30	145,20	1,27

Nilai rata-rata densitas bolus yang dianalisis menggunakan perbandingan massa dan volume adalah $1,25 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Hasil perhitungan dengan perbandingan massa dan volume mengalami perbedaan untuk tiap ketebalan, dikarenakan keakuratan dalam menentukan volume $11 \times 11 \text{ cm}$ sulit untuk akurat 100 %. Nilai densitas yang didapat apabila dibandingkan dengan nilai densitas referensi mengalami perbedaan yaitu sekitar 0,04 sampai 0,06 g/cm^3 sehingga terjadi perbedaan hasil sekitar 3,33 sampai 5,00 %.

Distribusi Dosis Serap

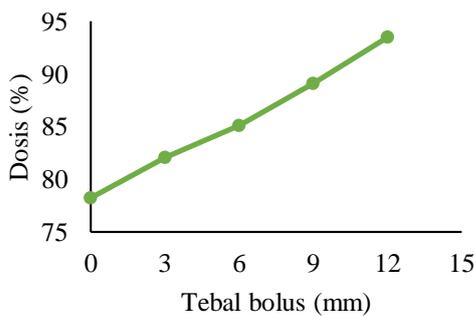
Persentase nilai dosis serap setiap kedalaman untuk masing-masing bolus yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 4.1. Terlihat dari Gambar 4.1 bahwa semakin tebal bolus yang digunakan maka semakin besar kenaikan dosis serap pada permukaan dan menunjukkan semakin

dangkalnya jangkauan kedalaman dosis serap yang dapat ditempuh oleh elektron 8 MeV yang dapat diamati dari semakin kecilnya dosis serap pada kedalaman 2,5 cm.



Gambar 4 Distribusi dosis serap sebagai fungsi kedalaman

Kenaikan dosis serap pada permukaan dapat dilihat pada gambar 4.2 yang menunjukkan kenaikan dosis serap permukaan tiap penggunaan bolus dengan ketebalan yang berbeda.



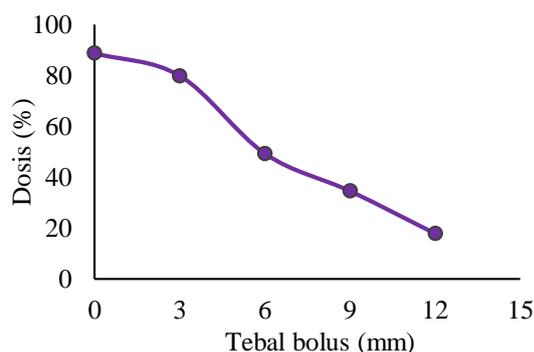
Gambar 4.2 Distribusi dosis serap pada permukaan sebagai fungsi ketebalan bolus

Dosis serap pada permukaan tanpa menggunakan bolus adalah 78,23 % sedangkan dosis serap pada permukaan dengan menggunakan bolus 3 mm adalah 82,09 %, mengalami kenaikan sebesar 3,86 % dari dosis serap pada permukaan tanpa menggunakan bolus, dosis serap pada permukaan dengan menggunakan bolus 6 mm adalah 85,13 %, mengalami kenaikan sebesar 6,90 % dari dosis serap pada permukaan tanpa menggunakan bolus, dosis serap pada permukaan dengan

menggunakan bolus 9 mm adalah 89,12 %, mengalami kenaikan sebesar 10,89 % dari dosis serap pada permukaan tanpa menggunakan bolus dan dosis serap pada permukaan dengan menggunakan bolus 12 mm adalah 93,48 %, mengalami kenaikan sebesar 15,25 % dari dosis serap pada permukaan tanpa menggunakan bolus.

Kenaikan dosis serap pada permukaan semakin besar dengan penggunaan bolus yang semakin tebal, hal ini dikarenakan karena adanya pergeseran daerah *build up* pada kurva PDD elektron 8 MeV yang memiliki dosis maksimum pada kedalaman 1,7 cm. Daerah *build up* tanpa menggunakan bolus memiliki dosis awal pada permukaan kulit sehingga dosis maksimum terdapat pada kedalaman dibawah permukaan kulit, penggunaan bolus dengan ketebalan 3, 6, 9 dan 12 mm menyebabkan pergeseran dosis awal dari permukaan kulit ke permukaan bolus, sehingga daerah *build up* PDD bergeser dan dosis maksimum bergeser juga mendekati permukaan kulit seiring kenaikan dosis.

Jangkauan kedalaman yang dapat ditempuh oleh elektron 8 MeV dapat diamati pada dosis serap yang diukur pada kedalaman 2,5 cm yang ditunjukkan gambar 4.4, terlihat bahwa semakin tebal bolus yang digunakan maka semakin dangkal jangkauan kedalaman dari elektron 8 MeV. Hal disebabkan karena penyempitan daerah *build up* akibat penggunaan bolus, penggunaan bolus yang semakin tebal menyebabkan daerah *build up* semakin sempit sehingga dosis maksimum semakin mendekati permukaan kulit, maka proses penurunan dosis setelah mencapai titik maksimum karena penurunan energi elektron akibat ionisasi yang terus menerus dan adanya radiasi pengereman atau *bremsstrahlung* pun ikut bergeser, sehingga jangkauan kedalaman dari elektron berenergi 8 MeV pun menurun.



Gambar 4.4 Distribusi dosis serap pada kedalaman 2,5 cm sebagai fungsi ketebalan bolus

Dosis serap pada kedalaman 2,5 cm pada penyinaran tanpa menggunakan bolus sebesar 88,68 %, menunjukkan bahwa jangkauan kedalaman dari penyinaran elektron 8 MeV masih besar sehingga penggunaan elektron 8 MeV sebagai energi yang dipilih untuk pengobatan kanker kulit atau kanker yang mendekati kulit memiliki dampak yang besar terhadap organ *at risk* yang ada di bawahnya. Penggunaan bolus dengan ketebalan 3 mm menunjukkan dosis serap pada kedalaman 2,5 cm sebesar 79,84 % mengalami penurunan sebesar 8,84 % dibandingkan tanpa menggunakan bolus, penggunaan bolus dengan ketebalan 6 mm menunjukkan dosis serap pada kedalaman 2,5 cm sebesar 49,26 % mengalami penurunan sebesar 39,42 % dibandingkan tanpa menggunakan bolus, penggunaan bolus dengan ketebalan 9 mm menunjukkan dosis serap pada kedalaman 2,5 cm sebesar 34,52 % mengalami penurunan sebesar 54,16 % dibandingkan tanpa menggunakan bolus dan penggunaan bolus dengan ketebalan 12 mm menunjukkan dosis serap pada kedalaman 2,5 cm sebesar 17,8 % mengalami penurunan sebesar 70,88 % dibandingkan tanpa menggunakan bolus.

Sehingga penggunaan bolus berbahan *Polydimethyl siloxane* dapat dimanfaatkan untuk pengobatan kanker kulit atau kanker yang mendekati permukaan kulit yang terdapat organ *atrisk* dibawah jaringan kanker yang harus dilindungi dari dosis yang berlebih.

KESIMPULAN

Hasil-hasil penelitian yang telah didapat memberikan kesimpulan :

1. Hasil perhitungan densitas bolus *polydimethyl siloxane* yang dihitung menggunakan *CT-number* adalah $1,24 \pm 0,02$ g/cm³, memiliki perbedaan 0,02 sampai 0,06 g/cm³ dengan densitas *polydimethyl siloxane* yang terdapat dalam referensi dan mengalami penyimpangan hasil sebesar 1,6 % sampai 5,00 %.
2. Hasil perhitungan densitas bolus *polydimethyl siloxane* yang dihitung dengan perbandingan massa dan volume adalah $1,25 \pm 0,01$ g/cm³, memiliki perbedaan 0,04 sampai 0,06 g/cm³ dengan densitas *polydimethyl siloxane* yang terdapat dalam referensi dan mengalami penyimpangan hasil sebesar 3,33 sampai 5,00 %.
3. Dosis serap pada permukaan dengan penggunaan bolus 3, 6, 9 dan 12 mm sebesar 82,09 %; 85,13 %, 89,12 % dan 93,48 %, sedangkan tanpa menggunakan bolus yang menunjukkan nilai dosis serap sebesar 78,23 %.
4. Dosis serap pada kedalaman 2,5 cm dengan penggunaan bolus 3, 6, 9 dan 12 mm sebesar 79,84 %; 49,26 %; 34,52 % dan 17,80 %, sedangkan tanpa menggunakan bolus yang menunjukkan nilai dosis serap sebesar 88,68 %.
5. *Polydimethyl siloxane* bisa menjadi salah satu referensi bahan yang digunakan sebagai bolus dalam radioterapi karena bisa menaikkan dosis permukaan, menurunkan jangkauan dosis kedalaman dan memiliki densitas mirip jaringan lunak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tjokronagoro, M. 2001, Biologi Sel Tumor Maligna, Fakultas Kedokteran, Yogyakarta: UGM

- [2] Kane, S.A, 2009, *Introduction to Physics in Modern Medicine Second Edition*, CRC Press, USA.
- [3] Podgorsak E. B., 2005, *External Photon Beams : Physical Aspects in Radiation Oncology Physics: A Hand Book for Teachers and Student*, Vienna, Austria: Publishing Section IAEA.
- [4] Hsu, SH dkk., 2008, *Assessment of skin dose for breast chest wall radiotherapy as a function of bolus material*, Physics Med Biol, Iran.
- [5] Munteanu, R, 1996, *Silicone Insulator Use on the Rise Worldwide*, Transmission and Distribution, London.
- [6] Akhadi, M., 2000, *Dasar Dasar Proteksi Radiasi*, Jakarta, PT Rineka Cipta.
- [7] Mayles, P dkk., 2007, *Handbook of Radiation Therapy Physics Theory and Practice*, Taylor and Francis Group, New York, London.
- [8] Zubaidah, A, 2005, *Efek Paparan Radiasi pada Manusia*, Artikel, Jakarta, Badan Tenaga Nuklir.
- [9] Roff dan Scott, 1971, *Fibres, Films, Plastics and Rubbers: A Hand Book of common polymers*, Butterworths, London, England.
- [10] Sears dan Zemansky, 2002, *Fisika Universitas Jilid 1(terjemahan oleh : Young dan Freedman)*, Jakarta, Erlangga
- [11] Battista dan Bronskill, 1981, *Compton Scatter Imaging of Transverse Sections : An Overall Appraisal and Evaluation for Radiotherapy Planning*, Physics Med Biol, Iran.