

HUBUNGAN KUADRATIK JUMLAH DAN LETAK SEED DENGAN DISTRIBUSI DOSIS I-125 BRACHYSEED PADA MODEL KANKER PROSTAT MENGGUNAKAN DOSE VOLUME HISTOGRAM

Junios

*Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Ceria Buana
Jl. Tuanku Nan Renceh Lubuk Basung, Sumatera Barat-25164
Email: juniossi@yahoo.co.id*

ABSTRACT

The aim of this study is to assess the variation effect of the amount and the location of seed I-125 in dose absorbing behaviors of the target (prostate) and other organs at risk (bladder and rectum). The phantom model is $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$ cube-shaped with $0.2 \times 0.2 \times 0.2 \text{ cm}^3$ voxel size. I-125 seeds are implanted into the prostate with variation of spacing and number. DOSXYZnrc is implemented to calculate doses. To analyze dose distribution of each organ, the Dose Volume Histogram (DVH) program is developed using MATLAB. From this investigation, the effect of location of seeds influences the dose volume histogram for all organs. For example, the volume of prostate that receives 20% or more of the maximum dose (VB20) decrease around 40%, if the spacing among the seeds increases from 0.5 cm to 1 cm. But the spacing of seeds has insignificance effect on VB100 for each organ. This phenomena also appears if the number of seeds is changed. The spacing - and the number of seed have important role in the dose distribution not only on the target but also on the organs at risk. Therefore, the optimization for both parameters is needed.

Key words: Brachytherapy, Prostate, DOSXYZnrc, DVH

PENDAHULUAN

Dewasa ini brakiterapi pada kanker sangat populer digunakan. Brakiterapi adalah pengobatan kanker dengan sumber radioaktif ditempatkan di dalam atau di dekat tumor sehingga memberikan dosis radiasi yang tinggi pada tumor sekaligus mengurangi paparan radiasi pada jaringan sehat di sekitarnya. Berdasarkan sifat pemberian radioaktif maka secara umum brakiterapi dapat dibedakan menjadi brakiterapi sementara yaitu bahan radioaktif ditempatkan di dekat tumor untuk waktu tertentu dan kemudian ditarik kembali, sedangkan sifat kedua adalah brakiterapi permanen atau disebut juga implantasi benih (*seed*), dimana radioaktif dalam seed ditempatkan di dekat tumor secara permanen (Hartmann, 2009).

Penelitian mengenai penanaman I-125 pada brakiterapi kanker prostat telah dila-

kukan oleh Mobit dkk (2004). Dalam penelitian ini, Mobit dkk menggunakan simulasi monte carlo EGSnrc untuk menyelidiki pengaruh perturbation dosis pada implan seed prostate brachytherapy menggunakan radioaktif I-125. Distribusi dosis pada volume tumor dalam brakiterapi tidak homogen. Pusat tumor yang dekat dengan sumber radiasi akan menerima dosis yang lebih besar pada bagian tepi tumor. Karena pusat tumor biasanya lebih radioresisten sehingga keadaan yang demikian menjadi keuntungan dalam teknik brakiterapi.

Pada tulisan ini, ditemukan hubungan variasi jumlah dan letak seed I-125 dengan dosis serap pada target (kanker prostat) dan organ beresiko (bladder dan rektum). Untuk melihat distribusi dosis pada material phantom baik target maupun OAR akan dibuat program *Dose Volume Histogram* (DVH) menggunakan DOSXYZnrc. DOSXYZnrc digunakan untuk melihat sebaran dosis pada model

yang dirancang berbentuk kubus berukuran $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$, seed I-125 diletakkan pada koordinat tertentu dalam model tersebut. Target dan organ berisiko ditempatkan pada koordinat yang telah ditentukan. Tujuan peletakan target dan organ berisiko adalah untuk melihat perbedaan dosis serap yang diterima oleh kanker prostat, bladder dan rektum pada jumlah seed yang berbeda. Setelah sebaran dosis masing-masing didapatkan, hasil tersebut kemudian diimplementasikan dalam bentuk kurva isodosis. Kurva isodosis menjadi acuan untuk melihat distribusi dosis dengan kurva DVH. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat membantu prediksi dosis radiasi yang akan diterima tumor dan dosis yang

diterima oleh organ risiko, serta memberikan informasi distribusi dosis untuk mengidentifikasi wilayah kritis.

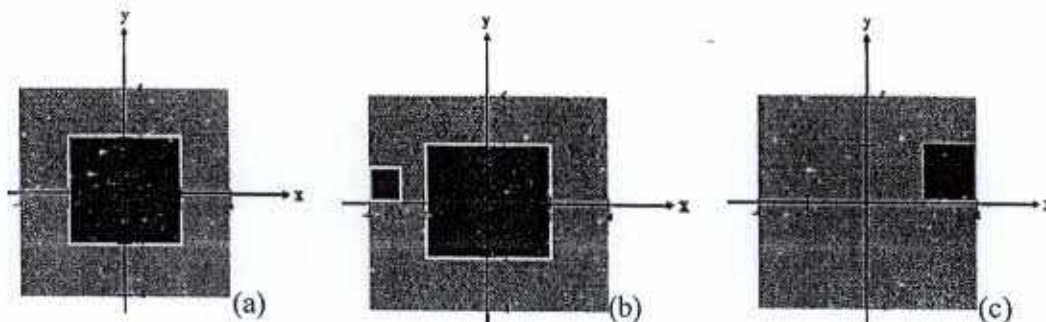
METODE PENELITIAN

Model Phantom

Model phantom yang dirancang dalam bentuk tiga dimensi, berupa kubus berukuran $8 \times 8 \times 8 \text{ cm}^3$. Kubus ini dibagi menjadi elemen-elemen voxel (volume elemen) berukuran $0,2 \times 0,2 \times 0,2 \text{ cm}^3$ dan jumlah voxel sebanyak $40 \times 40 \times 40$ buah. Pada kubus tersebut ditempatkan prostat, bladder dan rektum pada koordinat tertentu dengan rancangan tertera pada Tabel 1 dan diperjelas dengan Gambar 1.

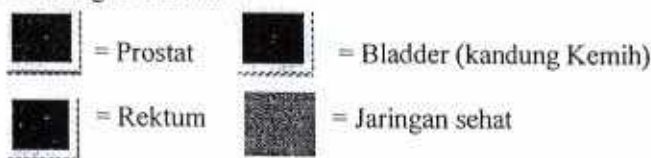
Tabel 1 Susunan Posisi Target dan Jaringan Sehat di Sekitar Model

No	Nama Anatomi	Medium	Volume (cm ³)	Posisi Awal			Posisi Akhir			No. Voxel Awal			No. Voxel Akhir		
				x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	Bladder	ICRU700 Tissue	2x2x2	2	0	2	4	2	4	31	21	31	40	30	40
2	Prostat	ICRU700 Tissue	4x4x4	-2	-2	-2	2	2	2	11	11	11	30	30	30
3	Rektum	ICRU700 Tissue	1x1x1	-4	0	0	-3	1	1	1	21	21	5	25	25
4	Jaringan sehat sekitar phantom	ICRU700 H ₂ O	40x40x40	-4	-4	-4	4	4	4	1	1	1	40	40	40



Gambar 1 (a) Model Kanker Prostat dalam bidang (x,y) pada $z = -2 \text{ cm}$; (b) Model Kanker Prostat dan rektum dalam bidang (x,y) pada $z = 0 \text{ cm}$; (c) Model bladder (kandung kemih) dalam bidang (x,y) pada bidang $z = 2 \text{ cm}$.

Keterangan Gambar :



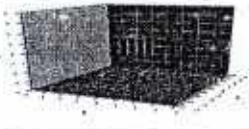




Agar model yang dibuat mendekati keadaan anatomi prostat, bladder, rektum dan organ lain di sekitarnya maka dilakukan pemilihan medium ICRU 700 H₂O (air) untuk mewakili jaringan sehat di sekitar target dan medium ICRU 700 Tissue sebagai medium yang mewakili anatomi prostat dan anatomi lain di sekitarnya. Medium ini berfungsi membedakan pelabelan pada masing-masing organ yang dimodelkan. Seed I.125 ditempatkan pada koordinat yang bervariasi di dalam model dengan lima simulasi dengan karakteristik yang tertera pada Tabel 2.

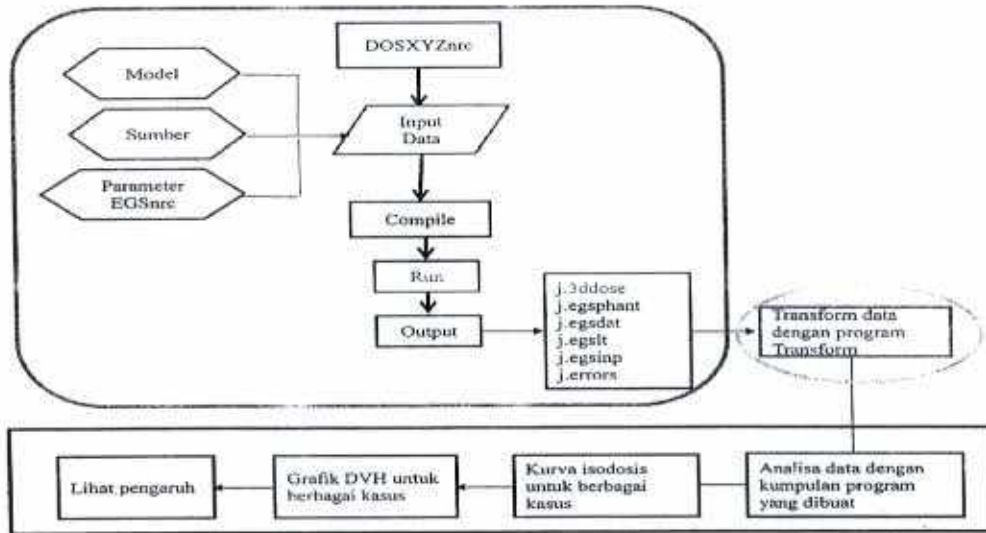
DOSXYZnrc

Untuk simulasi digunakan sistem Monte Carlo EGSnrc atau lebih tepatnya DOSXYZnrc. Pada software DOSXYZnrc ini

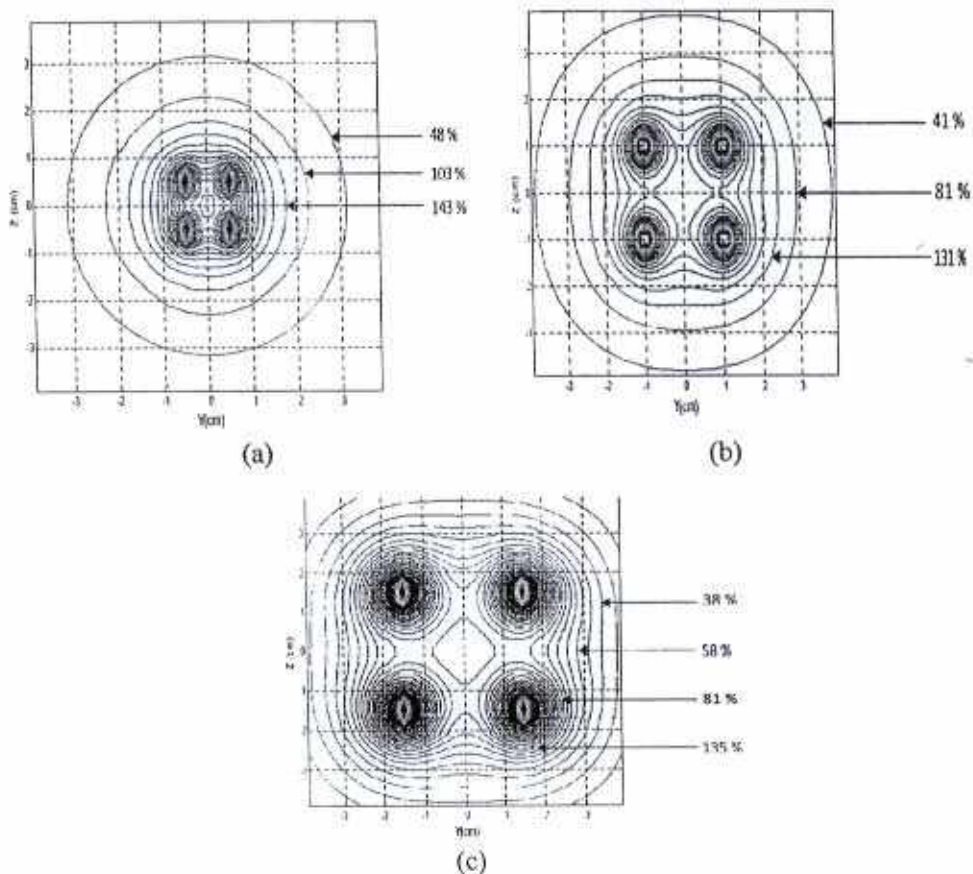
pengguna dapat menggambarkan geometri, material, spektrum energi dan menentukan jumlah partikel yang akan diberikan pada saat simulasi. Sampel diambil sebanyak 300.000.000 partikel. Sumber radioaktif I.125 ditanam satu-satu pada koordinat yang telah ditentukan dengan media yang disimulasikan adalah H₂O ICRU700 untuk jaringan sehat disekitar target sedangkan prostat, bladder (kandung kemih) dan rektum digunakan media Tissue ICRU700. Dipilihnya media H₂O ICRU700 dan Tissue ICRU700 dalam simulasi karena kedua media memiliki kepadatan (kerapatan) fisik menyerupai prostat dan organ beresiko yang menyerupai anatomi keduanya (Badragan. I and Sterian. P, 2009 : 85). Kemudian dilihat bagaimana penyebaran dosis pada model 6711 yang dibuat.

Tabel 2 Karakteristik Phantom dan Seed I.125 yang Digunakan dalam Simulasi pada Ukuran Phantom 8x8x8 Cm³, Ukuran Voxel 0,2x0,2x0,2 Cm³ dan Jumlah Voxel 64.000

Jenis Simulasi	Kordinat Masing-Masing Seed (x,y,z)	Gambar Simulasi
I (8 Seed)	(0,5;0,5;0,5); (-0,5;0,5;0,5); (-0,5;-0,5;0,5); (-0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;0,5); (0,5;0,5;-0,5); (-0,5;0,5;-0,5)	
II (8Seed)	(1;1;1); (-1;1;1); (-1;-1;1); (-1;-1;-1); (1;-1;-1); (1;-1;1); (1;1;-1); (-1;1;-1)	
III (8 Seed)	(1,5;1,5;1,5); (-1,5;1,5;1,5); (-1,5;-1,5;1,5); (-1,5;-1,5;-1,5); (1,5;-1,5;-1,5); (1,5;-1,5;1,5); (1,5;1,5;-1,5); (-1,5;1,5;-1,5)	
IV (16 Seed)	(0,5;0,5;0,5); (-0,5;0,5;0,5); (-0,5;-0,5;0,5); (-0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;0,5); (0,5;0,5;-0,5); (-0,5;0,5;-0,5); (1,5;1,5;1,5); (-1,5;1,5;1,5); (-1,5;-1,5;1,5); (-1,5;-1,5;-1,5); (1,5;-1,5;-1,5); (1,5;-1,5;1,5); (1,5;1,5;-1,5); (-1,5;1,5;-1,5)	
V (16 Seed)	(0,5;0,5;0,5); (-0,5;0,5;0,5); (-0,5;-0,5;0,5); (-0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;-0,5); (0,5;-0,5;0,5); (0,5;0,5;-0,5); (-0,5;0,5;-0,5); (1;1;1); (-1;1;1); (-1;-1;1); (-1;-1;-1); (1;-1;-1); (1;-1;1); (1;1;-1); (-1;1;-1)	



Gambar 2 Skema Penelitian



Gambar 3 Kurva Isodosis Gabungan Delapan Seed 1.125 Model 6711(a) Simulasi I pada $x = 0,5$ cm; (b) Simulasi II pada $x = 1$ cm dan (c) Simulasi III pada $x = 1,5$ cm, dari Pusat Phantom

Output DOSXYZnrc yang akan diolah lebih lanjut hanya j.3ddose dan j.egsphnt. Pada j.3ddose terdapat informasi sebaran dosis pada setiap materi atau bahan, sedangkan pada j.egsphnt terdapat informasi tentang materi atau bahan apa saja yang digunakan dalam proses simulasi. j.3ddose adalah data sebaran dosis 3 dimensi (3D) yang harus dibaca menggunakan sebuah program, yang disebut program **Baca Dosis 3D** yang merupakan salah satu hasil dari penelitian ini. Program lainnya yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah program **Transformasi Data** dan program **Penentuan Koordinat**. Program **Baca Dosis 3D** digabungkan dengan output j.egsphnt dijadikan sebagai acuan dalam membuat **Program DVH**.

Skema penelitian diilustrasikan dalam Gambar 2. Dari keenam output yang dihasilkan dari DOSXYZnrc, yang dapat digunakan untuk melihat distribusi dosis adalah j.3ddose. Pada j.3ddose, distribusi dosis pada prostat, bladder dan rektum menggunakan simulasi Monte Carlo. Selanjutnya analisa distribusi dosis dilakukan menggunakan program yang dibuat bersamaan dengan penelitian ini. Untuk analisa distribusi dosis digunakan **Program Transform**, **Program penentuan koordinat dosis**, **dosis referensi** dan **dosis prostat, bladder, dan rectum**, **Program baca data** dan **Program DVH**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Dosis Gabungan Delapan Seed I-125

Simulasi gabungan delapan seed I-125 ditempatkan pada koordinat 0,5 cm dari pusat phantom secara homogen. Simulasi untuk jarak ini selanjutnya dinamakan simulasi I. Proses simulasi dilakukan satu demi satu sehingga pada setiap saat hanya ada satu seed I-125 dalam phantom air. Setelah didapatkan sebaran dosis pada tiap-tiap seed, kemudian hasilnya digabungkan sehingga hasil distribusi dosis yang diselidiki adalah sebaran dosis gabungan delapan seed I-125 model 6711.

Selanjutnya simulasi gabungan delapan seed I-125 ditempatkan pada koordinat 1 cm

dari pusat phantom secara homogen. Simulasi ini dinamakan simulasi II. Perlakuan yang sama diberlakukan untuk simulasi II ini, sehingga diperoleh hasil distribusi dosis pada kurva isodosis. Simulasi gabungan delapan seed I-125 dilanjutkan dengan menempatkan seed pada koordinat 1,5 cm dari pusat phantom dan dinamakan simulasi III.

Berdasarkan Gambar 3 untuk seed I.125 yang ditanam pada koordinat 0,5 cm dari pusat phantom terlihat distribusi dosis hingga jarak 3 cm dari pusat phantom dengan nilai dosis 48%, sedangkan untuk seed I.125 yang ditanam pada koordinat 1 cm dari pusat phantom distribusi dosis mencapai jarak hampir 4 cm dari pusat phantom dengan nilai dosis 41%, sementara untuk seed I.125 dengan koordinat 1,5 cm dari pusat phantom sebaran dosis mencapai 4 cm dari pusat phantom dengan nilai dosis 38%.

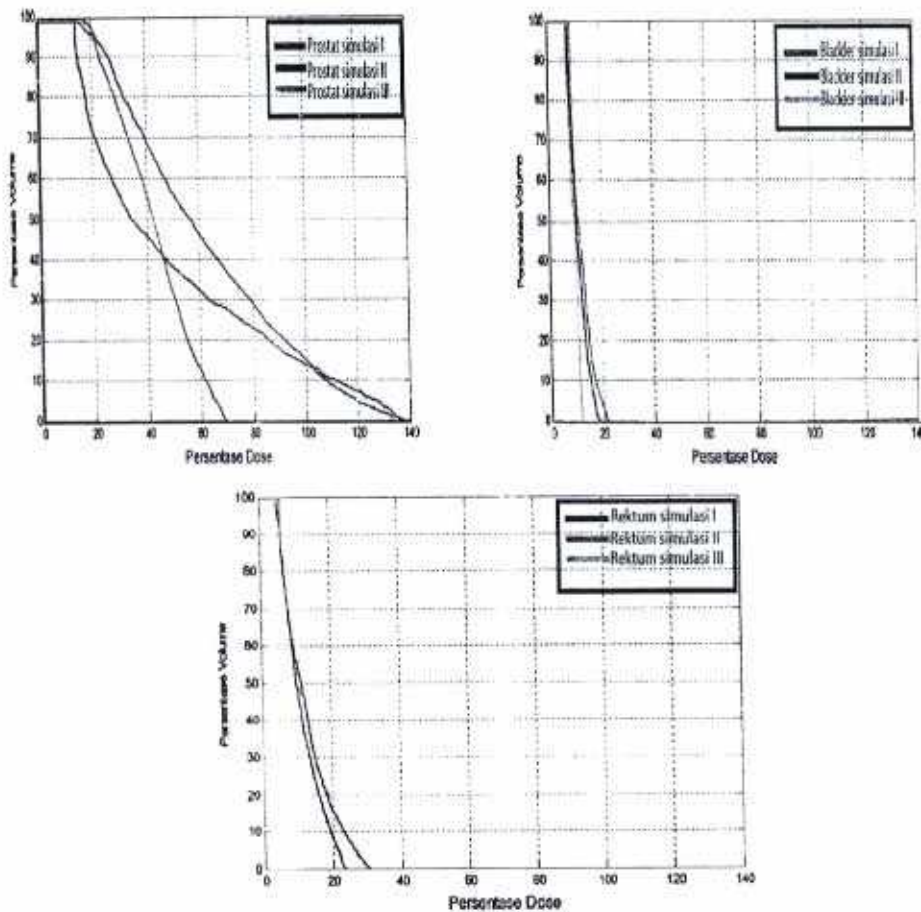
Berikut ini adalah perbandingan dosis yang diperoleh pada simulasi I, simulasi II dan simulasi III. Ketiga hasil ini dibandingkan untuk melihat distribusi dosis untuk masing-masing organ target maupun organ beresiko. Untuk simulasi I dan simulasi II distribusi dosis untuk organ target dan organ beresiko tidak terlalu jauh berbeda. Hal ini terjadi karena pengaruh posisi seed I.125 yang diletakkan tidak terlalu jauh dari posisi target (prostat) yang memiliki ukuran dari -2 hingga 2 cm. Sedangkan untuk simulasi III, seed I.125 terletak di koordinat 1,5 cm artinya seed I.125 sudah berada di pinggir posisi target, meskipun masih berada dalam rentang target yang telah dirancang. Agar lebih jelas distribusi dosis untuk ketiga simulasi disajikan dalam grafik DVH pada Gambar 4.

Dari Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa untuk volume 100% kanker prostat mendapatkan dosis yang sama yaitu kurang dari 20% untuk simulasi I, II dan III. Dikarenakan belum ada referensi mengenai dosis tertinggi yang diperbolehkan untuk kasus brakiterapi, maka peneliti mengambil acuan dosis tertinggi pada *external beam therapy* (teleterapi) yang dikemukakan oleh (Kassis, 1979) menyatakan bahwa: untuk prostat menurut referensi menerima dosis tertinggi yang masih

dapat ditoleransi (MTD) antara 5000-7000cGy. Untuk bladder dan rektum nilai MTD nya berkisar antara 100-200cGy. Jika diasumsikan prostat pada simulasi ini mendapatkan MTD pada 7000cGy, bladder dan rektum 200cGy, maka volume 100% kanker prostat mendapatkan dosis kurang dari 1400 cGy, jauh dari dosis maksimal yang diperbolehkan. Untuk volume 100% organ berisiko hanya mendapatkan dosis kurang dari 10%, artinya untuk volume ini organ berisiko baik bladder maupun rektum mendapatkan dosis kurang dari 20cGy. Dosis yang kecil untuk resiko organ ini tentu baik agar organ berisiko dapat diselamatkan.

Volume 10% kanker prostat mendapatkan dosis yang sangat tinggi mencapai 110% untuk simulasi I, artinya pada volume ini do-

sis yang diserap oleh target mencapai 7700cGy, sedangkan simulasi II dosis yang terserap kurang dari 7700 cGy. Keadaan yang jauh berbeda terjadi pada simulasi III karena hanya mendapatkan dosis kurang dari 70% atau hanya mendapatkan dosis kurang dari 4900 cGy. Pada bladder pada simulasi I dan II masing-masing hanya mendapatkan dosis kurang dari 20% atau kurang dari 40 cGy dan untuk simulasi III mendapatkan dosis kurang dari 20 cGy. Untuk rektum nilai dosisnya bervariasi, simulasi I mendapatkan dosis kurang dari 30% (60 cGy), simulasi II 20% (40 cGy) dan simulasi III 15% (30 cGy). Secara umum tidak terdapat perbedaan yang signifikan distribusi dosis untuk simulasi I dan simulasi II.



Gambar 4 Grafik Dose Volume Histogram Gabungan Delapan Seed I.125 Model 6711 Simulasi I, II dan III

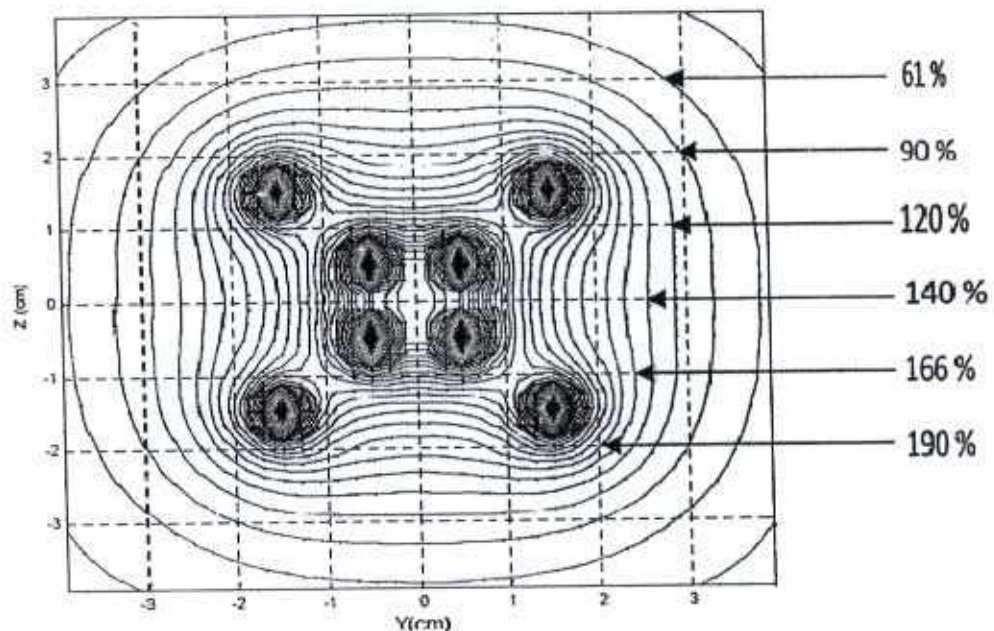
Tabel 3 Area Volume yang Dikenai Dosis pada Target dan Resiko Organ Seed I. 125 Model 6711

Jaringan	Jenis Simulasi	V10	V20	V60	V90	V100
Prostat	Simulasi I	110%	<100%	<40%	<20%	<20%
	Simulasi II	<110%	<100%	<50%	<30%	<20%
	Simulasi III	<70 %	<60%	40%	<30%	<20%
Bladder	Simulasi I	<20 %	<20 %	10 %	<10 %	<10 %
	Simulasi II	<20 %	<20 %	10 %	<10 %	<10%
	Simulasi III	<10 %	<10 %	<10 %	<10 %	<10 %
Rektum	Simulasi I	<30 %	<20 %	10 %	<10 %	<10 %
	Simulasi II	20 %	<20 %	10 %	<10 %	<10%
	Simulasi III	15 %	<15 %	<10 %	<10 %	<10 %

Ketika seed diletakkan pada koordinat 1,5 cm dari pusat phantom (simulasi III), distribusi dosisnya mengalami penurunan untuk target dan organ berisiko. Hal ini disebabkan oleh posisi seed yang diletakkan terlalu jauh dari posisi target yang berada pada jarak -2 cm hingga 2 cm untuk bidang x, y, z, sehingga dosis yang terserap pada target juga semakin kecil. Dengan demikian, dapat direkomendasikan untuk model yang berukuran sama de-

ngan penelitian ini akan lebih baik meletakkan posisi seed pada jarak 0,5 hingga 1 cm dari pusat phantom.

Namun secara umum gabungan delapan seed I.125 belum melampaui dosis tertinggi yang dianjurkan untuk diberikan baik untuk target maupun organ berisiko, sehingga jumlah delapan seed I.125 masih aman diberikan pada kasus kanker prostat.



Gambar 5 Kurva Isodosis Gabungan Enam Belas Seed I.125 Model 6711 pada Koordinat 0,5 dan 1,5 cm

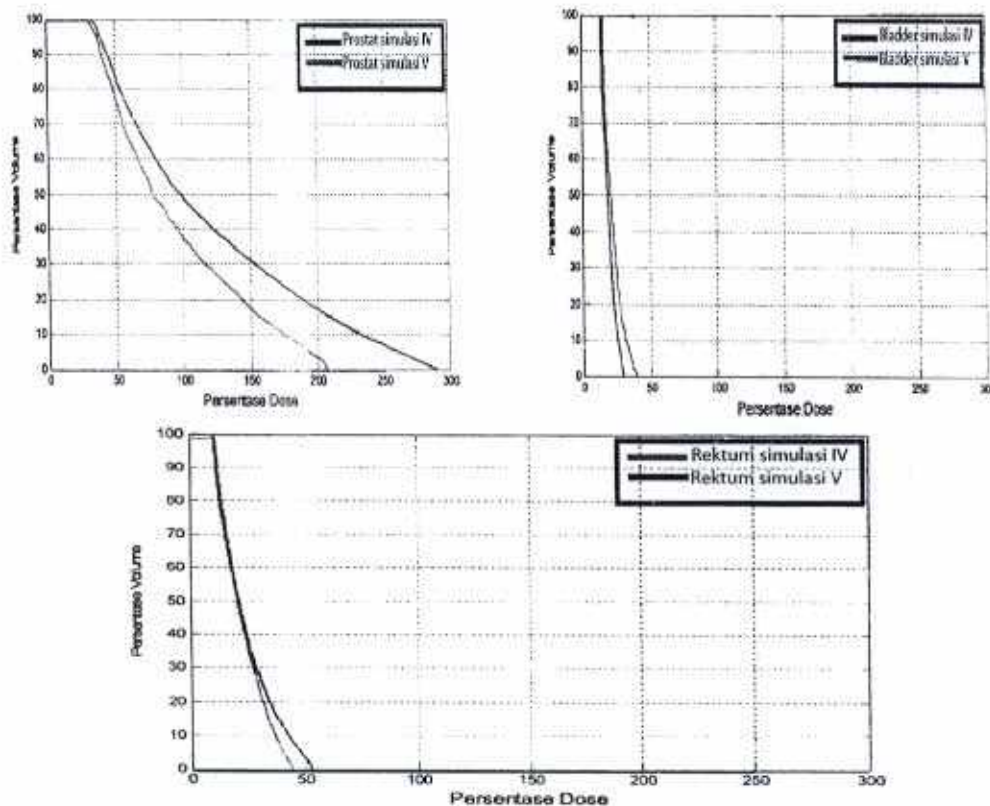
Distribusi Dosis Gabungan Enam Belas Seed I.125

Untuk melihat pengaruh jumlah seed yang lebih banyak terhadap distribusi dosis serap untuk target dan organ berisiko, maka gabungan seed I.125 yang semula terdiri dari delapan seed ditambah hingga enam belas seed. Simulasi enam belas seed I.125 pertama ditempatkan pada koordinat 0,5 dan 1,5 cm dari pusat phantom, simulasi ini dinamakan simulasi IV. Simulasi enam belas seed I.125 kedua ditempatkan 0,5 dan 1 cm dari pusat phantom, simulasi ini dinamakan simulasi V. Adapun kurva isodosis hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan gambar ini terlihat distribusi dosis hingga jarak 4 cm dari pusat phantom dengan nilai dosis 61%. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa jum-

lah seed mempengaruhi peningkatan distribusi dosis pada phantom, namun sayangnya kita tidak bisa mengetahui dengan tepat berapa peningkatan dosis serap untuk target (prostat) dan organ berisiko (bladder dan rektum). Untuk mengetahui seberapa persen peningkatan distribusi dosis tersebut maka analisa distribusi dosis akan dilanjutkan dengan kurva DVH pada bagian selanjutnya.

Distribusi dosis pada kedua simulasi di atas dapat dilihat pada grafik Dose Volume Histogram pada Gambar 6. Distribusi dosis berlaku untuk setiap material atau bahan seperti prostat, bladder dan rektum.

Dengan memperhatikan grafik pada Gambar 5 dapat disimpulkan seperti pada Tabel 4.



Gambar 6. Grafik Dose Volume Histogram Gabungan Enam Belas Seed I.1 25 Model 6711 Simulasi IV dan V

Tabel 4 Area Volume yang Dikenai Dosis pada Target dan Resiko Organ Gabungan Enam Belas Seed I. 125 model 6711

Jaringan	Jenis Simulasi	V10	V20	V60	V90	V100
Prostat	Simulasi IV	<200%	<150%	<80%	<50%	<50%
	Simulasi V	<250%	<200%	<100%	<50%	<50%
Bladder	Simulasi IV	<50%	25%	<25%	<20%	<20%
	Simulasi V	<50 %	<50 %	25 %	<25 %	<20 %
Rektum	Simulasi IV	<50 %	<50 %	<25 %	<20 %	<20%
	Simulasi V	<50 %	<50 %	<25 %	<20 %	<20 %

Dari Tabel 4 dapat dijelaskan bahwa untuk volume 100% kanker prostat mendapatkan dosis kurang dari 50% atau 3500 cGy baik pada simulasi IV maupun simulasi V. Jika dibandingkan dengan simulasi I, II dan III pada keadaan yang sama mendapatkan dosis serap hanya 20%. Artinya terdapat kenaikan dosis yang signifikan lebih dua kali lipat dari dosis semula. Untuk organ berisiko pada volume 100% pada simulasi IV dan V ini hanya mendapatkan dosis kurang dari 20% atau kurang dari 40 cGy, nilai dosis ini sama dengan simulasi I, II dan III. Artinya pada penambahan jumlah seed tidak mempengaruhi dosis serap pada organ berisiko untuk volume 100%.

Untuk volume 10% kanker prostat mendapatkan dosis yang sangat tinggi, untuk simulasi IV hampir 200% (14000 cGy), sedangkan simulasi V hampir 250 % (17500 cGy). Keadaan ini sangat jauh berbeda jika dibandingkan nilai dosis serap pada simulasi I yang hanya 110% (7700 cGy), simulasi II hampir 7700 cGy, dan simulasi III yang kurang dari 70% (4900 cGy). Rata-rata kenaikan dosis serap untuk target pada simulasi IV dan V ini lebih dari 100%.

Untuk organ berisiko mendapatkan dosis kurang dari 50% atau kurang dari 100 cGy pada simulasi IV dan V. Jika dibandingkan dengan simulasi I, II dan III yang mendapatkan dosis rata-rata 40 cGy, maka kenaikan dosis untuk organ berisiko juga cukup signifikan lebih 100%.

Jika dibandingkan distribusi dosis yang diterima masing-masing organ baik target maupun organ berisiko untuk gabungan delapan seed dan gabungan enam belas seed I.125, maka terdapat perbedaan yang sangat signifikan. Peningkatan dosis serap yang terjadi pada target (prostat) mencapai lebih dari 100%

baik pada 100% volume target maupun pada 10% volume target. Peningkatan dosis serap ini juga diikuti oleh 10% volume organ berisiko baik bladder maupun rektum, namun tidak terjadi pada 100% volume organ berisiko, pada volume ini dosis serap pada simulasi IV dan V memiliki nilai yang sama dengan simulasi I, II dan III yaitu 40 cGy, tentu nilai dosis seperti ini sangat diharapkan. Kejadian ini tambah menarik karena peningkatan dosis pada bladder dan rektum ini belum melampaui dosis tertinggi yang direkomendasikan (MTD) yaitu pada dosis 200 cGy, sedangkan dosis tertinggi yang dicapai oleh OAR ini hanya mencapai 100 cGy. Dari kedua perlakuan yang telah dibandingkan ternyata jumlah seed berpengaruh terhadap nilai dosis serap pada masing-masing organ, namun peningkatan dosis untuk 100% volume target dan 100% volume OAR, serta 10% volume OAR masih dalam batas toleransi dosis.

KESIMPULAN

Terjadi peningkatan dosis serap pada prostat, bladder dan rektum pada saat dilakukan penambahan jumlah seed. Peningkatan dosis serap yang diterima oleh prostat, bladder dan rektum hampir 400%, namun masih dalam toleransi dosis yang diperbolehkan untuk organ berisiko, artinya belum merusak organ berisiko disekitar prostat. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut sampai berapa jumlah gabungan seed maksimal yang diberikan, sehingga dosis yang diterima baik oleh prostat sebagai target dan organ berisiko melebihi ambang batas dosis yang dianjurkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada kementerian pendidikan dan kebudayaan

(Kemendikbud) RI karena penelitian ini dibiayai oleh Dana Dikti lewat penelitian dosen pemula pada tahun 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- Badragan I and Sterian P. 2009. Space Phase Characteristic of A Typical I-125 Brachy Seed, Modelled By Monte Carlo Techniques. *U.P.B Sci. Bull, Series A, Vol 71 (4)*: 81-88.
- Baltas D and Zamboglou N. 2006. *2D and 3D Planning in Brachytherapy*, Springer, USA.
- Guyton 1995. *Fisiologi Manusia dan Mekanisme Penyakit*. Jakarta: EGC.
- Hartmann G. 2009. *Nomenclature In Radiotherapy*, Springer, USA.
- Junios. *Pengaruh Jumlah Seed Terhadap Distribusi Dosis I-125 Brachyseed pada Model Kanker Prostat dengan Dose Volume Histogram. Vol. I. (34)*: 83-92.
- Tabin SM and Zaidi H. 2003. Monte Carlo for use in therapeutic nuclear medicine. *Institute of Physics Publishing*.p: 133-153.
- Mobit P and Badragan I. 2004. Dose perturbation effect in prostat seed implant brachytherapy with I-125, Institut of Phisiscs Publishing, *Phisiscs in Medicine and Biology 49*: 3171-3178.
- Panitsa E, Rosenwald JC and Kappas C. 1998. Quality control of dose volume histogram computation characteristic. *Phisiscs Med. Biol. 43*:2807-2816.