
**PERMANENT SEED IMPLANT DOSIMETRY (PSID)TM VERSI 4.5
SEBAGAI PROGRAM ISODOSIS DAN TREATMENT PLANNING SYSTEM (TPS)
UNTUK BRAKITERAPI**

Indra Saptiama, Moch. Subechi, Anung Pujiyanto, Hotman Lubis, Herlan Setiawan
Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR), BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia

Email: Indra.saptiama@batan.go.id

ABSTRAK

PERMANENT SEED IMPLANT DOSIMETRY (PSID)TM VERSI 4.5 SEBAGAI PROGRAM ISODOSIS DAN TREATMENT PLANNING SYSTEM (TPS) UNTUK BRAKITERAPI.

Pengobatan kanker menggunakan radiasi terapi semakin berkembang. Salah satu metode radiasi terapi yang digunakan di bidang radioterapi adalah Brakiterapi. Brakiterapi merupakan metode radiasi terapi dimana sumber radiasi ditempatkan pada sel kanker secara langsung sehingga dosis yang diterima sel kanker mendapatkan dosis maksimal dan daerah yang normal mendapatkan dosis minimal. *Seed* I-125 telah berhasil dibuat untuk Brakiterapi di dalam negeri. Dalam rangka mendukung penanaman *seed* I-125 untuk Brakiterapi, diperlukan program komputer untuk perhitungan isodosis dan *Treatment Planning System* (TPS). Permanent *Seed Implant Dosimetry* (PSID) 4.5 merupakan salah satu program untuk perhitungan isodosis dan TPS yang dimiliki Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka-BATAN. Dalam perhitungan isodosis, PSID 4.5 menggunakan formula 1D dan 2D berdasarkan AAPM-TG43 (*Association of American Physicist in Medicine- Task Group No.43*). Fungsi Anisotropi pada formula 1D hanya bergantung pada fungsi jarak sedangkan pada formula 2D bergantung pada fungsi jarak dan sudut sehingga formula 2D memiliki perhitungan isodosis yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan formula 1D. PSID 4.5 dapat menampilkan kontur isodosis dari sumber radiasi *seed* I-125 secara 2 dimensi (2D) dan 3 dimensi (3D). Program komputer isodosis dan TPS menggunakan PSID 4.5 diharapkan dapat membantu dalam proses perencanaan penanaman *seed* I-125 untuk Brakiterapi yang dilakukan oleh paramedis dan dapat mendukung pemakaian *seed* I-125 produksi dalam negeri.

Kata kunci: Brakiterapi, *Seed*, PSID 4.5, I-125, Isodosis.

ABSTRACT

PERMANENT SEED IMPLANT DOSIMETRY (PSID)TM 4.5 VERSION AS ISODOSE AND TREATMENT PLANNING SYSTEM (TPS) PROGRAMME FOR BRACHYTHERAPY.

The medical treatment using radiation therapy for cancer diseases is increasingly developed. One of the method used in radiotherapy is brachytherapy. Brachytherapy is radiation therapy method in which a radiation source is implanted in cancer cell directly so the dose accepted by cancer cell is the highest dose and the dose accepted by normal cell is the lowest dose. I-125 Seed have been made successfully in domestic. To support the implant of I-125 seed for brachytherapy needs computer programme for the isodose calculation and Treatment Planning System (TPS). Permanent Seed Implant Dosimetry (PSID) 4.5 is one of the isodose calculation and Treatment Planning System (TPS) programme that is owned by Center for Radioisotope and Radiopharmaceutical-BATAN. In isodose calculation, PSID 4.5 uses 1D formalism and 2D formalism based on AAPM-TG43 (*Association of American Physicist in Medicine- Task Group No.43*). Anisotropic function on 1D formalism depend on distance function while on 2D formalism count on distance and angle function therefore 2D formalism has isodose calculation better than 1D formalism usage. PSID 4.5 can display the isodose contour of the seed I-125 radiation source in 2 dimension (2D) and 3 dimension (3D). The computer programme of isodose calculation and TPS uses PSID 4.5 is expected able to help planning for seed I-125 implantation process for brachytherapy that used by paramedis and to support the usage of seed I-125 as domestic product.

Keywords: Brachytherapy, Seed, PSID 4.5, I-125, Isodose

PENDAHULUAN

Brakiterapi merupakan salah satu bentuk radiasi terapi dimana sumber radiasi ditempatkan sedekat mungkin/ dimasukkan pada daerah/jaringan yang sakit sehingga diharapkan daerah yang memerlukan pengobatan tersebut mendapatkan dosis yang maksimal dan daerah yang normal mendapatkan dosis yang minimal [1,2,3]. Umumnya brakiterapi digunakan sebagai pengobatan untuk *solid tumors* [3]. Beberapa bentuk metode brakiterapi telah dikembangkan diantaranya *seed I-125* [4], *seeds Au-198* [5], *microspheres Y-90* [6], dan *jarum/wire iridium-192* [7]. Beberapa metode tersebut telah terbukti efektif dalam pengobatan melalui terapi radiasi.

Brakiterapi dengan menggunakan sumber radiasi penanaman *seed* ke dalam tubuh telah berkembang sejak 25 tahun yang lalu [2]. *Seed* merupakan sebuah biji yang umumnya terbuat dari bahan logam titanium yang didalamnya berisi sumber radioisotop tertentu, salah satunya adalah I-125. Teknik brakiterapi menggunakan penanaman *seed* kedalam tubuh berdasarkan waktu terbagi atas penanaman *seed* sementara (*temporary implant seed*) dan penanaman *seed* permanen (*permanent implant seed*). Sedangkan berdasarkan dosis yang diterima terdiri atas *high dose rate* (HDR), *medium dose rate* (MDR), dan *low dose rate* (LDR). LDR memiliki laju dosis sampai dengan 2 Gy/jam, MDR memiliki laju dosis 2-12 Gy/jam, dan HDR memiliki laju dosis diatas 12 Gy/jam [8]. Penanaman *seed* dalam tubuh memerlukan perencanaan yang matang dalam menempatkan *seed* dan perhitungan dosis sehingga dosis yang diterima pada daerah yang sakit sesuai dengan dosis yang diinginkan. Oleh karena itu diperlukan *Treatment*

Planning System (TPS) yang dapat membantu dalam proses perencanaan penanaman *seed* kedalam tubuh sehingga *seed* dapat berada pada posisi yang optimal dan perhitungan dosis yang diterima sesuai harapan.

Pada tahun 2010, *Seed I-125* telah berhasil dibuat oleh Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN Serpong [9]. Dalam usaha untuk mendukung pemakaian *seed I-125* tersebut, PRR-BATAN memiliki 2 program komputer TPS yakni program TPS buatan dalam negeri yang dibuat oleh Ibon Suparman dkk [1] berbasis *Microsoft Visual Basic 6.0 for Windows* dan *Permanent Seed Implant Dosimetry (PSID)* versi 4.5. Kedua program TPS tersebut memiliki keunggulan masing-masing. Akan tetapi, pada makalah ini akan dipaparkan mengenai program *Permanent Seed Implant Dosimetry (PSID)* versi 4.5.

PERMANENT SEED IMPLANT DOSIMETRY (PSID) 4.5

Permanent Seed Implant Dosimetry (PSID) 4.5 digunakan dalam perhitungan isodosis untuk penanaman *seed* dengan sumber radioaktif radiasi rendah (LDR) pada prostat atau organ lainnya. Sistem operasi yang dapat digunakan untuk menjalankan PSID 4.5 adalah *32-bit Windows[™]*, *Microsoft[™]*, *XP[™]* atau *Vista[™]*. Perangkat keras yang dapat digunakan adalah prosesor intel pentium 4 atau diatasnya, agar maksimal beroperasi menggunakan *dual* atau *quad core processors* dan memiliki *random access memory (RAM)* sebesar 2 GIBIBYTES. Selain itu, batas minimal *screen resolution* komputer yakni 1440 x 900 pixels.

TATA KERJA

Pada PSID 4.5 menyediakan 2 jenis perhitungan isodosis *seed* I-125 yang berbeda yakni menggunakan formula 1D dan formula 2D. Kedua metode perhitungan algoritma ini sama-sama berdasarkan AAPM-TG43 (*Association of American Physicist in Medicine- Task Group No.43*) [10]. Pada perhitungan laju dosis menggunakan formula 1D, sumber radioaktif dianggap berbentuk titik (*point source*). Sedangkan pada perhitungan laju dosis menggunakan formula 2D, sumber radioaktif berbentuk garis (*cylindrically symmetric line source*). Perbedaan perhitungan laju dosis menggunakan formula 1D dan 2D terletak pada formula perumusan dari fungsi anisotropi. Pendekatan perhitungan anisotropi pada formulasi 1D tidak bergantung orientasi sumbu longitudinal (*longitudinal axis*) dari sumber sehingga pada perhitungan anisotropi (ϕ) hanya memperhitungkan jarak radial dengan mengabaikan sudut dari posisi sumbu longitudinal. Berikut formula laju dosis () untuk formula 1D [10]:

$$\dot{D}(r) = S_k \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta_0)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot \phi_{an}(r)$$

- (r,) = laju dosis pada titik P (r,) (cGy/jam)
- S_k = kekuatan sumber kerma di udara (cGy.cm²/jam,U)
- Λ = tetapan laju dosis (cGy/jam/U)
- G(r,) = faktor geometri
- G(r₀, θ₀) = faktor geometri pada r = 1 dan θ = 90°
- g_L(r) = fungsi dosis radial
- ϕ_{an}(r) = fungsi anisotropi

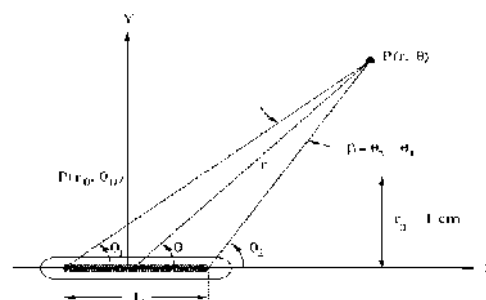
Pada formula 2D, perhitungan laju dosis bergantung pada jarak radial (r) dan sudut () [10]. Formula yang digunakan dalam formula 2D adalah ;

$$\dot{D}(r, \theta) = S_k \cdot \Lambda \cdot \frac{G_L(r, \theta)}{G_L(r_0, \theta_0)} \cdot g_L(r) \cdot F(r, \theta)$$

Dimana :

- (r,) = laju dosis pada titik P (r,) (cGy/jam)
- S_k = kekuatan sumber kerma di udara (cGy.cm²/jam,U)
- Λ = tetapan laju dosis (cGy/jam/U)
- G(r,) = faktor geometri
- G(r₀, θ₀) = faktor geometri pada r = 1 cm dan θ = 90°
- g_L(r) = fungsi dosis radial
- F(r,) = fungsi anisotropi

Berikut sistem koordinat yang digunakan dalam perhitungan dosimetri brakiterapi sehingga dapat lebih jelas posisi suatu sumber pada posisi (r,) yang dapat dilihat pada Gambar 1 [10].



Gambar 1. Sistem koordinat yang digunakan pada perhitungan dosimetri brakiterapi [10]

Dimana :

- r = Jarak sumber aktif ke titik P (r,) (cm)
- L = Panjang sumber aktif (cm)
- θ = Besar sudut yang terbentuk dari titik P (r,) terhadap kedua ujung sumber aktif (radian)
- θ₀ = Besar sudut di tengah sumber aktif antara P (r,) dan sumbu sumber aktif (°)

Isodosis adalah titik – titik (posisi) pada jarak tertentu dari sumber radioaktif, yang memiliki laju dosis yang sama dari titik tengah tegak lurus sumber sehingga membentuk kontur isodosis pada sumber [1]. Akan tetapi, pada PSID 4.5 kontur isodosis yang dihasilkan bukan merupakan laju dosis melainkan dosis akumulatif jenuh dari sumber.

Hubungan antara laju dosis () dengan dosis akumulatif (D) adalah ;

$$D = \dot{D} \cdot \int_{t=0}^{t=t} e^{-\lambda t} (3)$$

Dimana :

- D = Dosis akumulatif (cGy)
- = Laju Dosis (cGy/jam)
- = Ketetapan peluruhan radioaktif (jam⁻¹)
- t = waktu (jam)

Dosis akumulatif jenuh adalah dosis akumulatif dimana jumlah dosis yang diterima tidak berbeda jauh seiring dengan bertambahnya waktu. Secara matematis, Dosis akumulatif jenuh terjadi ketika waktu tak terhingga (t = ∞) sehingga jika disubstitusi kedalam persamaan (3) menjadi

$$D = \dot{D} \cdot \int_{t=0}^{t=\infty} e^{-\lambda t} (4)$$

Sehingga jika diselesaikan secara matematis didapat hubungan antara laju dosis () dengan dosis akumulatif (D) yakni :

$$D = \frac{\dot{D}}{\lambda} (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan jenis *seed* perlu dilakukan sebelum membuat kontur isodosis. Pada PSID 4.5 disediakan beberapa macam *seed* yang akan digunakan dalam proses perhitungan isodosis. *Seed*

yang terdapat pada PSID 4.5 merupakan *seed manufactured* yang telah memiliki spesifikasi panjang sumber aktif, panjang fisik dan kekuatan air kerma tertentu. Berikut spesifikasi beberapa *seed* yang terdapat pada PSID 4.5 dan *seed* buatan dalam negeri pada Tabel 1;

Terlihat pada Tabel 1 bahwa *seed* buatan dalam negeri sangat mirip dengan *seed* dari Amersham dengan nomor model 6711 baik secara fisik maupun nilai dose rate constant. Dalam program isodosis PSID versi 4.5 belum terdapat database dari PRR-BATAN, oleh karena itu *seed* buatan Amersham 6711 dapat menjadi acuan dalam perhitungan isodosis.

Perhitungan dosis akumulatif menggunakan formula 1D dan 2D

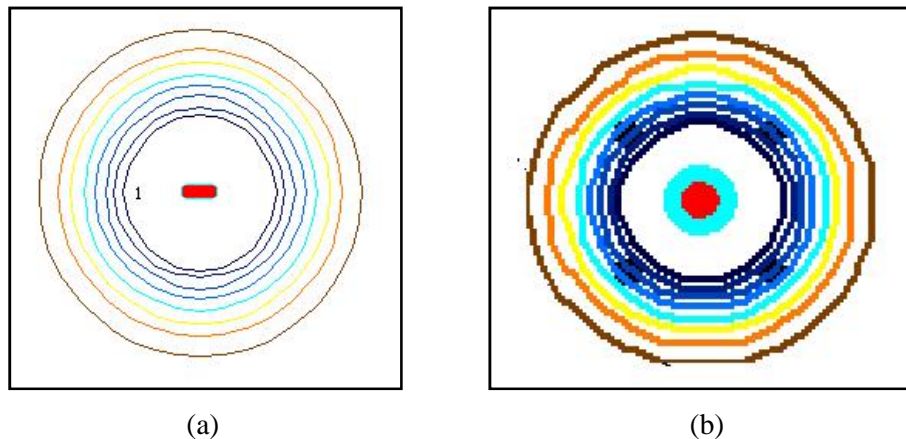
Perhitungan dosis akumulatif dilakukan pada PSID 4.5 dengan menggunakan *seed*-125 buatan Bebig/Theragenic dengan nomor model 3631 dengan nilai dose rate constant sebesar 1.012 cGy/hU , kekuatan air kerma sebesar 1.27 U/mCi dan waktu paruh I-125 sebesar 59.4 hari. Perhitungan menggunakan 1 buah *seed*-125 dengan radioaktivitas 1 mCi. Berikut hasil perhitungan dosis akumulatif menggunakan formula 1D dan 2D.

Tabel. 1 Spesifikasi *seed* I-125 yang terdapat pada PSID 4.5 dan buatan dalam negeri

| Produk | Amersham | | Bebig/Theragenic | | PRR-BATAN |
|-------------------------------|------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Nomor model | 6702 | 6711 | 3631 | 2301 | - |
| Panjang sumber aktif | 3 mm | 3 mm | 3.5 mm | 4 mm | 3 mm |
| Panjang <i>seed</i> | 4.6 mm | 4.6 mm | 4.6 mm | 5 mm | 5 mm |
| Dose rate constant () cGy/hU | 1.036 | 0.965 | 1.012 | 1.018 | 0.965 |
| Bentuk sumber aktif | Bola resin | Batang perak | Batang keramik emas | Batang dan tungsten | Batang perak |

Tabel 2. Hasil perhitungan dosis akumulatif menggunakan formula 1D dan 2D

| Jarak | 90° | | 45° | | 0° | |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| | 1D | 2D | 1D | 2D | 1D | 2D |
| 0.5 cm | 102.783 Gy | 106.181 Gy | 102.783 Gy | 105.543 Gy | 102.783 Gy | 53.965 Gy |
| 1.0 cm | 24.729 Gy | 26.335 Gy | 24.729 Gy | 24.719 Gy | 24.729 Gy | 14.051 Gy |
| 1.5 cm | 10.374 Gy | 11.048 Gy | 10.374 Gy | 10.295 Gy | 10.374 Gy | 6.137 Gy |
| 2 cm | 5.374 Gy | 5.273 Gy | 5.374 Gy | 5.332 Gy | 5.374 Gy | 3.348 Gy |
| 3 cm | 1.926 Gy | 2.053 Gy | 1.926 Gy | 1.906 Gy | 1.926 Gy | 1.258 Gy |
| 4 cm | 0.841 Gy | 0.894 Gy | 0.841 Gy | 0.833 Gy | 0.841 Gy | 0.556 Gy |
| 5 cm | 0.409 Gy | 0.435 Gy | 0.409 Gy | 0.407 Gy | 0.409 Gy | 0.283 Gy |



Gambar. 2 Hasil kontur isodosis menggunakan formula 1D
 a. Kontur isodosis sumber aktif pada posisi lateral.
 b. Kontur isodosis sumber aktif pada posisi kaodal

Pada Tabel 2 terlihat bahwa perhitungan dosis akumulatif dengan menggunakan formula 1D memiliki nilai yang sama pada setiap sudut yang berbeda dengan jarak yang tetap. Sedangkan perhitungan dosis akumulatif menggunakan formula 2D, dosis akumulatif yang dihasilkan pada setiap sudut berbeda walaupun pada jarak yang sama. Hasil kontur isodosis menggunakan formula 1D dapat dilihat pada Gambar 1, yang menunjukkan tidak terjadi perbedaan kontur isodosis baik pada posisi lateral maupun kaodal. Keduanya memiliki pola kontur isodosis yang sama. Sedangkan pada Gambar 2. menunjukkan kontur isodosis menggunakan formula 2D dimana pola kontur isodosis sumber aktif pada posisi lateral dan kaodal

berbeda. Pada posisi lateral, pada jarak yang sama memiliki dosis akumulatif yang berbeda sehingga tidak membentuk pola lingkaran akan tetapi pada posisi kaodal memiliki dosis akumulatif yang sama pada jarak yang sama pula sehingga pola kontur isodosis menyerupai lingkaran. Hal ini telah dijelaskan sebelumnya bahwa perhitungan isodosis pada 1D, fungsi anisotropi tidak dipengaruhi oleh sudut pada bidang longitudinal sehingga menghasilkan dosis akumulatif yang sama pada setiap sudutnya dan menghasilkan pola kontur isodosis yang sama baik pada posisi lateral maupun kaodal. Akan tetapi, perhitungan isodosis pada 2D, fungsi anisotropi merupakan fungsi dari jarak dan sudut sehingga menghasilkan nilai dosis akumulatif

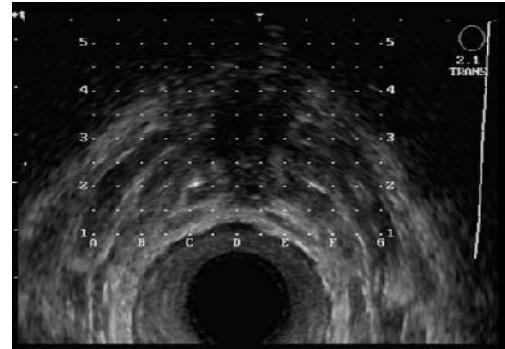
yang berbeda di setiap jarak dan sudutnya. Hal ini terlihat pada pola kontur isodosis dari sumber aktif posisi lateral karena pada posisi lateral sumber aktif tidak dapat dianggap lagi sebagai sumber titik melainkan sebagai sumber garis. Oleh karena itu, perhitungan isodosis menggunakan formula 2D lebih disarankan karena memperhitungkan jarak dan sudut pada bidang longitudinal sehingga memiliki akurasi perhitungan yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan formula 1D.

Perencanaan *implant seed* menggunakan PSID 4.5

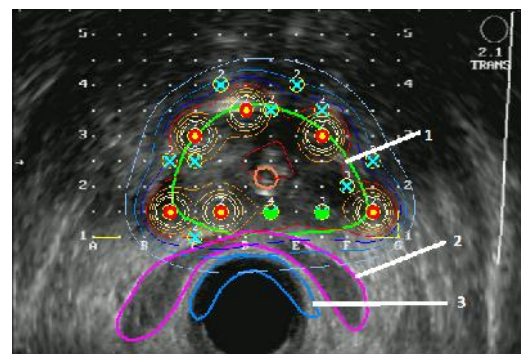
Pada PSID 4.5 mengenal secara garis besar 2 sistem perencanaan dalam penanaman *seed* I-125 yakni sebelum penanaman *seed* I-125 (*Pre-planning*) dan pasca penanaman *seed* I-125 (*Post-planning*). Tahap *Pre-planning* merupakan tahap dimana *seed* belum ditanamkan ke dalam tubuh sedangkan tahap *post-planning* adalah tahap dimana *seed* telah tertanam dalam tubuh dengan tujuan mengevaluasi hasil penanaman *seed* pada saat tahap *pre-planning*. Pada saat perencanaan penanaman *seed* I-125 diperlukan gambar baik offline maupun online yang dapat dijadikan sebagai *reference planes*. Gambar dapat diambil melalui pencitraan dari CT scan, MRI, Ultrasound atau lainnya. Gambar 3. merupakan salah satu contoh pencitraan menggunakan Ultrasonografi (USG) yang telah tersedia pada software PSID 4.5.

Penentuan kontur organ pada gambar dilakukan secara manual dimana setiap warna kontur mewakili organ tertentu. Setelah itu, tahap selanjutnya adalah penanaman *seed* pada organ yang sakit. Jumlah dan posisi *seed* ditentukan berdasarkan dosis yang diharapkan atau ditentukan sebelumnya. Hasil isodosis secara langsung dapat diketahui

melalui kontur isodosis yang terdapat disekitar *seed*. Berikut salah satu penampilan hasil penanaman *seed* menggunakan PSID 4.5 pada Gambar 4.



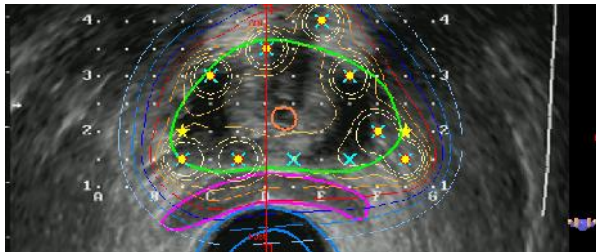
Gambar 3. Contoh gambar menggunakan pencitraan USG



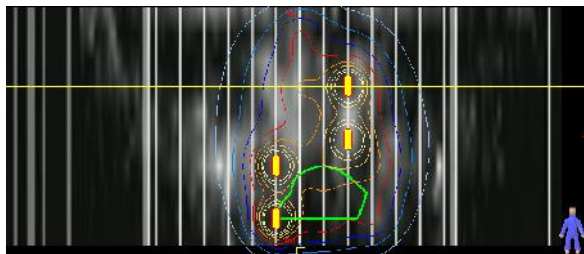
Gambar 4. Hasil penanaman *seed* menggunakan PSID 4.5

Pada Gambar 4. terlihat 2 jenis kontur yang berbeda yakni kontur dengan garis tebal dan garis tipis. Kontur garis tebal merupakan kontur organ dimana warna mewakili masing-masing organ. Kontur 1 mewakili batasan organ *prostate*. Kontur 2 mewakili batasan organ *seminal vesicles*. Kontur 3 mewakili batasan organ *rectum*. Kontur garis tipis merupakan kontur isodosis yang mewakili hasil perhitungan dosis akumulatif yang diterima pada daerah tertentu. Setiap garis kontur mewakili dosis akumulatif tertentu. Semakin dekat dengan *seed* maka semakin besar nilai dosis akumulatifnya.

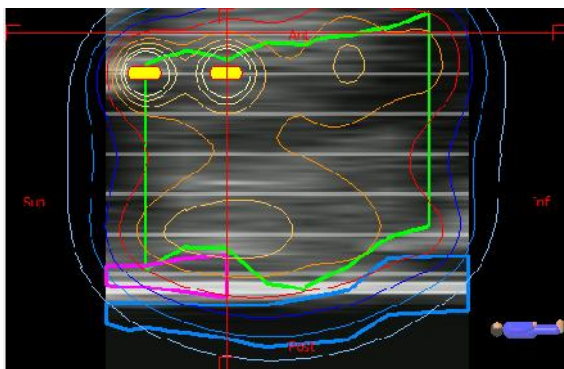
Penampilan kontur isodosi yang dapat dilihat secara 2 dimensi (2D) maupun 3 dimensi (3D). Pada Gambar 5 merupakan penampilan kontur secara 2 dimensi (2D).



(a)



(b)



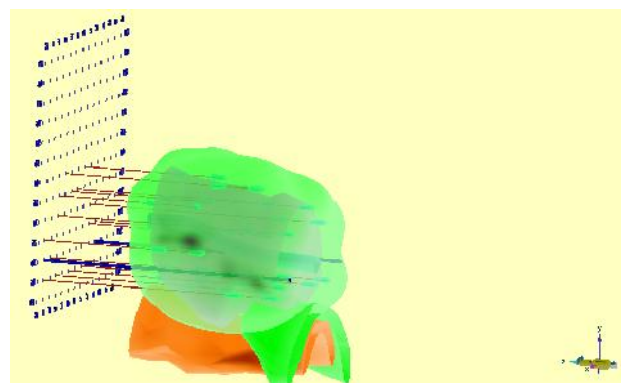
(c)

Gambar 5. (a) penampakan secara kaodal
(b) penampakan secara anterior-pasterior
(c) penampakan secara lateral

Pada Gambar.5 terlihat kontur isodosi dengan 3 penampakan yang berbeda yakni penampakan secara kaodal, anterior-pasterior, dan lateral. Secara umum, Tubuh dibagi atas 3 sumbu yakni sumbu x (dari kiri ke kanan tubuh), sumbu y (dari atas ke bawah tubuh) dan sumbu z (dari belakang ke depan tubuh) sehingga tubuh dapat

dibagi 3 bidang yakni bidang xy (bidang koronal), bidang xz (bidang tranversal), dan bidang yz (bidang sagital). Penampakan secara kaodal merupakan penampakan yang dilihat dari sisi bawah tubuh atau bidang tranversal. Penampakan secara anterior-posterior (AP) merupakan penampakan yang dilihat dari sisi depan tubuh atau bidang koronal. Penampakan secara lateral merupakan penampakan yang dilihat dari sisi samping tubuh atau bidang sagital.

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil garis kontur yang telah dibuat secara kontinu di setiap gambar pada *reference planes* ditampilkan secara 3 dimensi (3D). Posisi *seed* juga terlihat pada Gambar 6 yang terdapat didalam organ prostat beserta kontur isodosinya secara 3D. Secara garis besar, penampilan 3D pada PSID 4.5 dapat memberikan gambaran mengenai bentuk dan besaran suatu kanker pada organ yang sakit serta pencitraan lebih baik mengenai gambaran secara keseluruhan organ-organ yang terlibat.



Gambar 6. Penampakan kontur secara 3 dimensi (3D)

KESIMPULAN

Perhitungan isodosis menggunakan Program *Permanent Seed Implant Dosimetry* (PSID) 4.5 menggunakan formula 1D dan 2D. Fungsi Anisotropi pada formula 1D hanya bergantung pada fungsi jarak sedangkan pada formula 2D bergantung pada fungsi jarak dan sudut sehingga formula 2D memiliki perhitungan isodosis yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan formula 1D. PSID 4.5 memiliki tampilan baik secara 2 dimensi (2D) maupun 3 dimensi (3D) beserta kontur isodosis yang dihasilkan. Program komputer isodosis dan TPS menggunakan PSID 4.5 diharapkan dapat membantu dalam proses perencanaan penanaman *seed* I-125 untuk Brakiterapi yang dilakukan oleh paramedis dan dapat mendukung pemakaian *seed* I-125 produksi dalam negeri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN) atas hibah program isodosis dan TPS *Permanent Seed Implant Dosimetry* (PSID) versi 4.5 dan Dr Ibon Suparman atas bimbingannya mengenai pemahaman isodosis.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUPARMAN I., SOENARJO S., PRASETIO H., Program Komputasi isodosis dan TPS *Seed* ¹²⁵I untuk Brakiterapi. *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*. Vol 14 No 2 Oktober 2011.
2. BAHN D K., " Treatment of Prostate Cancer : Radioactive *Seed* Implantation", *Cancer News on the Net*, Department of Radiology, Crittenton Hospital, Rochester, 2011.
3. ZUBILLAGA M., BOCCIO J., ET AL, Pirocarbonat[™]: A new radiopharmaceutical labelled with ³²P for the treatment of solid tumors, therapeutic action and radiodosimetric calculations. *School of pharmacy and biochemistry, University of Buenos Aires*.
4. MATZKIN H., KAVER I., STENGER A., ET AL, Iodine-125 brachytherapy for localized prostate cancer and urinary morbidity: a prospective comparison of two seed implant methods-preplanning and intraoperative planning. *Urology* 62 (3), 2003
5. CRUSINBERRY R A., KRAMOLOWSKY E V., AND LOENING S A., Percutaneous transperineal placement of gold-198 *seed* for treatment of carcinoma of the prostate. *The prostate*. 11 (1987) 56-67.
6. ENRHARDT G J., DAY D., Therapeutic use of ⁹⁰Y microspheres. *Nucl. Med. Biol.* 14 (1987) 233-242.
7. GENKA T., REDIATNING W., MUTALIB A., Low dose rate Ir-192 wire source for brachytherapy. *Jurnal radioisotop dan radiofarmaka*, vol 2 no 1, 1999.
8. AWALUDIN R., Pemanfaatan radioisotop untuk mencegah restenosis pada jantung, *alara*, vol 8, No 1, 2006.
9. PUJIYANTO A., SUBECHE M., MUJINAH., ET AL, Pembuatan sumber radiasi *seed* brakiterapi I-125 untuk pengobatan kanker. *Jurnal Radioisotop dan radiofarmaka* vol 15, No 1, April 2012
10. RIVARD M J., BUTLER W M., DEWERD L A., ET AL, Supplement to the 2004 update of the AAPM task group No. 43 report. *Med. Phys.* 34 (6), June 2007.