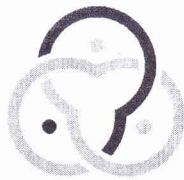


*Buletin*

# ALARRA

- **Konsep dan aplikasi dosis efektif sebagai besaran proteksi**
- **Radiofarmaka untuk terapi kanker**
- **Pengkajian dosimetri radiasi internal pada terapi radioisotop untuk mendukung aspek keselamatan dalam kedokteran nuklir**
- **Anugerah Tuhan itu bernama teknologi nuklir: Dari detektor asap hingga pembangkit listrik**
- **Praktik “*safety leadership*” dalam membangun budaya keselamatan yang kuat**
- **Radiasi: Awak pesawat terbangpun perlu tahu**
- **Implementasi *quality assurance* dan *quality control* pada sistem TLD PTKMR-BATAN untuk layanan evaluasi dosis radiasi perorangan**

**Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi  
Badan Tenaga Nuklir Nasional**



PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN  
METROLOGI RADIASI  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

ISSN 1410 - 4652

# Buletin Alara

Volume 16 Nomor 1, Agustus 2014

## TIM REDAKSI

### **Penanggung Jawab**

Kepala PTKMR

### **Pemimpin Redaksi**

Dr. Mukh Syaifudin

### **Penyunting/Editor & Pelaksana**

Prof. Eri Hiswara, M.Sc  
Hasnel Sofyan, M.Eng  
Gatot Wurdianto, M.Eng  
dr. B.Okky Kadharusman, Sp.PD  
Dr. Johannes R. Dumais

### **Sekretariat**

Setyo Rini, SE  
Salimun

### **Alamat Redaksi/Penerbit :**

#### **PTKMR - BATAN**

⇒ Jl. Lebak Bulus Raya No. 49  
Jakarta Selatan (12440)  
Tel. (021) 7513906, 7659512 ;  
Fax. (021) 7657950

⇒ PO.Box 7043 JKSKL,  
Jakarta Selatan (12070)

e-mail : [ptkmr@batan.go.id](mailto:ptkmr@batan.go.id)  
[alara\\_batan@yahoo.com](mailto:alara_batan@yahoo.com)

### **Dari Redaksi**

Teknologi nuklir merupakan anugerah dari Tuhan yang dapat membawa manfaat dan berperan penting dalam upaya meningkatkan mutu hidup manusia. Radiasi dapat digunakan untuk memproduksi energi listrik, berbagai zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya telah dimanfaatkan di berbagai bidang terutama medik, industri dan pertanian. Selain membawa manfaat, juga memiliki efek yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Efek deterministik merupakan efek yang dapat terjadi pada organ atau jaringan tubuh tertentu yang menerima radiasi dosis tinggi, dan efek stokastik merupakan efek tertunda setelah selang waktu tertentu, atau oleh turunannya sebagai akibat penerimaan radiasi dosis rendah di seluruh tubuh. Dengan adanya kedua efek berbahaya ini, setiap aplikasi radiasi harus dapat dikendalikan melalui suatu mekanisme teknologi yang dikembangkan dengan dasar fenomena yang terjadi jika radiasi berinteraksi dengan jaringan tubuh.

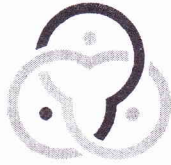
Radiofarmaka adalah sediaan farmaka yang di dalamnya telah diikatkan radionuklida pemancar radiasi untuk dimanfaatkan untuk tujuan diagnosis atau terapi kanker. Agar keselamatan pasien terhadap radiasi dapat terpantau, maka pengkajian dosimetri radiasi internal pada terapi radioisotop perlu dilakukan.

Pada bagian lainnya, perlu adanya praktik *safety leadership* dalam membangun budaya keselamatan yang kuat, misalnya betapa pentingnya awak pesawat terbang untuk mengetahui radiasi. Dan juga pentingnya implementasi QA dan QC pada sistem TLD untuk layanan evaluasi dosis radiasi perorangan

Akhirnya disampaikan ucapan selamat membaca, semoga apa yang tersaji dalam Buletin ini dapat menambah wawasan yang lebih luas mengenai ilmu dan teknologi nuklir serta menggugah minat para pembaca yang budiman untuk menekuni iptek ini. Jika ada kritik dan saran yang menyangkut tulisan dan redaksional untuk meningkatkan mutu Buletin Alara, akan kami terima dengan senang hati.

*redaksi*

*Buletin ALARA terbit pertama kali pada Bulan Agustus 1997 dan dengan frekuensi terbit 3 kali dalam setahun (Agustus, Desember dan April) ini diharapkan dapat menjadi salah satu sarana informasi, komunikasi dan diskusi di antara para peneliti dan pemerhati masalah keselamatan radiasi dan lingkungan di Indonesia.*



## **IPTEK ILMIAH POPULER**

- 1 - 8** Konsep dan aplikasi dosis efektif sebagai besaran proteksi  
**Eri Hiswara**
- 9 - 13** Radiofarmaka untuk terapi kanker  
**Rohadi Awaludin**
- 15 - 20** Pengkajian dosimetri radiasi internal pada terapi radioisotop untuk mendukung aspek keselamatan dalam kedokteran nuklir  
**Nur Rahmah Hidayati**

## **INFORMASI IPTEK**

- 21 - 28** Anugerah Tuhan itu bernama teknologi nuklir: Dari detektor asap hingga pembangkit listrik  
**Siti Nurhayati dan Mukh Syaifudin**
- 29 - 34** Praktik "*safety leadership*" dalam membangun budaya keselamatan yang kuat  
**Farida Tusafariah dan W. Prasud**
- 35 - 43** Radiasi: Awak pesawat terbangpun perlu tahu  
**Hasnel Sofyan dan Mukhlis Akhadi**
- 45 - 50** Implementasi *quality assurance* dan *quality control* pada sistem TLD PTKMR-BATAN untuk layanan evaluasi dosis radiasi perorangan  
**Nazaroh, Sri Subandini Lolaningrum dan Rofiq Syaifudin**

## **LAIN - LAIN**

- 14** Tata cara penulisan naskah/makalah
- 44** Kontak Pemerhati

Tim Redaksi menerima naskah dan makalah ilmiah semi populer yang berkaitan dengan *Keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan dalam pemanfaatan iptek nuklir untuk kesejahteraan masyarakat*. Sesuai dengan tujuan penerbitan buletin, Tim Redaksi berhak untuk melakukan *editing* atas naskah/makalah yang masuk tanpa mengurangi makna isi. Sangat dihargai apabila pengiriman naskah/makalah disertai dengan disketnya.



**Pembaca yang budiman,**

Buletin ALARA menerima naskah atau makalah iptek ilmiah populer yang membahas tentang "Aspek Keselamatan Radiasi dan Keselamatan Lingkungan dalam Pemanfaatan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir untuk Kesejahteraan Masyarakat". Naskah/makalah yang dikirimkan ke Redaksi Buletin ALARA adalah naskah/makalah yang khusus untuk diterbitkan oleh Buletin ALARA dengan melampirkan 1 eksemplar dan disket yang berisi file makalah tersebut. Apabila naskah/makalah tersebut telah pernah dibahas atau dipresentasikan dalam suatu pertemuan ilmiah, harus diberi keterangan mengenai nama, tempat dan saat berlangsungnya pertemuan tersebut. Redaksi berhak mengubah susunan bahasa tanpa mengubah isi dan maksud tulisan.

Naskah/makalah ditulis dalam Bahasa Indonesia yang baku dan mengikuti tata cara (*format*) penulisan suatu makalah yang benar. *Istilah asing* dalam naskah/makalah harus ditulis *miring* dan diberi padanan kata Bahasa Indonesia yang benar. Naskah/makalah diketik menggunakan *font 12 Times New Romans* dengan 1,5 spasi pada kertas ukuran kuarto, satu muka, margin kiri 3 cm; margin atas, bawah, kanan 2,5 cm. Lebih disukai bila panjang tulisan kira-kira 8 - 15 halaman kuarto. Nama (para) penulis ditulis lengkap disertai dengan keterangan lembaga/fakultas/institut tempat bekerja dan bidang keahlian (jika ada) pada catatan kaki. Tabel/skema/grafik/ilustrasi dalam naskah/makalah dibuat sejelas-jelasnya dalam satu file yang sama. Kepustakaan ditulis berdasarkan huruf abjad, mengikuti ketentuan penulisan kepastakaan, dan sangat diharapkan menggunakan literatur 5 tahun terakhir, adalah sbb ;

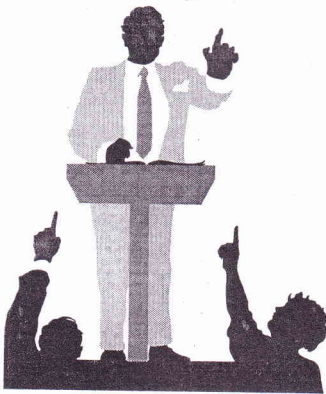
AFFANDI, Pengukuran radionuklida alam pada bahan bangunan plaster board fosfogipsum dengan menggunakan spektrometer gamma, Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA UI, 2010. (*Bila yang diacu skripsi/thesis*)

BOZIARI, A., KOUKORAVA, C., CARINOU, E., HOURDAKIS CJ. AND KAMENOPOULOU, V, The use of active personal dosimeters as a personal monitoring device: Comparison with TL dosimetry, Radiat. Prot. Dosim. 144, pp. 173 - 176, 2011. (*Bila yang diacu jurnal/majalah/prosiding*)

MARTINA and HARBISON, S.A., An introduction to radiation protection, Chapman and Hall, London, New York, 2012

NEVISSI, A.E., Methods for detection of radon and radon daughters, in : indoor radon and its hazards, edited by D. Bodansky, M.A. Robkin, D.R. Stadler, University of Washington Press, pp. 30 - 41, 2010 (*Bila yang diacu dalam satu buku yang merupakan kumpulan tulisan, seperti Handbook, Ensiklopedi dll*).

Tim Redaksi



**Naskah/makalah dapat ditujukan kepada :**

Tim Redaksi Buletin ALARA

u.p. **Setyo Rini, SE**

**PTKMR - BATAN**

- Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Kawasan Nuklir Pasar Jumat Jakarta (12440)
- PO. Box 7043 JKSKL, Jakarta 12070
- e-mail : alara.ptkmr@yahoo.com  
ptkmr@batan.go.id

# PENGAJIAN DOSIMETRI RADIASI INTERNAL PADA TERAPI RADIOISOTOP UNTUK MENDUKUNG ASPEK KESELAMATAN DALAM KEDOKTERAN NUKLIR

Nur Rahmah Hidayati

Bidang Teknik Nuklir Kedokteran dan Biologi Radiasi, PTKMR – BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya 49, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070
- inn98@batan.go.id

## PENDAHULUAN

Terapi radioisotop (*radioisotope therapy*) atau disebut juga terapi radionuklida (*radionuclide therapy*) telah diakui sebagai pengobatan regional (*locoregional treatment*) untuk mematikan sel-sel kanker. Dalam proses pengobatan tersebut, energi radiasi diberikan secara selektif pada sel atau jaringan yang sakit dengan meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat di sekitarnya. Dengan keunggulan-keunggulan tersebut, terapi radioisotop ini telah terbukti sebagai terapi dengan pendekatan revolusioner, terutama pada kasus pengobatan kanker yang tidak mungkin dilakukan dengan cara operasi.

Perkembangan kedokteran nuklir di Indonesia akhir-akhir ini ditandai dengan berkembangnya riset dan produksi radiofarmaka diagnostik dan untuk terapi, khususnya terapi kanker. Perkembangan yang menarik ini, sudah seharusnya diiringi dengan peningkatan pertimbangan aspek keselamatan, sebagaimana telah disebutkan dalam Undang Undang No 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, yang mencantumkan ketentuan bahwa dalam setiap pemanfaatan tenaga nuklir/radiasi di Indonesia, aspek keselamatan harus diutamakan dengan mempertimbangan asas manfaat yang lebih besar dari resiko yang akan diterima akibat pemanfaatan energi radiasi.

Oleh karena itu, perkembangan dalam bidang riset radiofarmaka untuk kedokteran nuklir terapi ini sudah seharusnya diikuti dengan perkembangan aspek keselamatan radiasi pada pasien dalam hal pengkajian dosis internal radiasi medis yang diakibatkan oleh proses injeksi radioisotop ke dalam tubuh pasien. Hal ini disebabkan dalam proses injeksi radioisotop ke dalam tubuh manusia, akan menyebabkan organ-organ tubuh menerima paparan radiasi internal. Sehingga pengkajian dosimetri radiasi internal dalam bidang medis akan berfungsi sebagai perangkat untuk mengkaji resiko yang akan diterima tubuh. Resiko ini akan meningkat pada prosedur kedokteran nuklir terapi dimana dosis injeksi radioisotop yang diberikan jauh lebih besar daripada injeksi pada prosedur kedokteran nuklir diagnostik.

Untuk injeksi radioisotop dengan tujuan terapi (*radioisotope/radionuclide therapy*), pengkajian internal dosimetri medis bahkan dapat berfungsi sebagai alat perencana pengobatan (*treatment planning*), terutama jika pada proses pengobatan tersebut beberapa organ diketahui sebagai organ yang beresiko tinggi, yang dapat terkena dampak resiko dari proses injeksi radioisotop tersebut. Sebagai contoh, pada satu studi dosimetri internal untuk terapi menggunakan  $^{177}\text{Lu}$ , pengkajian dosimetrinya ditekankan pada organ-organ yang dianggap beresiko tinggi yaitu ginjal, sumsum tulang dan

hati. Contoh lainnya, pada terapi radioisotop dengan reseptor peptide (*Peptide Receptor Radioisotope Therapy, PRRT*), ginjal digunakan sebagai organ pembatas dosis, yang artinya ginjal akan menjadi organ yang paling beresiko tinggi sehingga pemberian dosis tidak boleh melewati pembatas dosis untuk ginjal. Pengkajian dosimetri internal pada ginjal tersebut dilakukan untuk mencegah terjadinya *nephropathy* radiasi, yaitu kerusakan ginjal akibat radiasi tinggi.

Sedemikian pentingnya dosimetri radiasi internal untuk terapi ini, pengetahuan dan keahlian dalam pengkajian dalam pengkajian dosimetri radiasi internal ini sangat diperlukan untuk mendukung program riset dan pengembangan produksi radiofarmaka untuk kanker terapi yang akan dilaksanakan oleh salah satu pusat penelitian di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yaitu Pusat Teknologi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) yang akan mengembangkan riset dan produksi radiofarmaka tersertifikasi untuk pengobatan penyakit kanker sebagai kegiatan prioritas BATAN di tahun 2015-2018.

### Terapi Radioisotop

Penggunaan radioisotop untuk terapi di bidang kedokteran bukan merupakan hal baru. Radioisotop sudah digunakan untuk mengobati penyakit *thyrotoxicosis* pada tahun 1941 dan kanker tiroid pada tahun 1943 dengan menggunakan iodium aktif. Dengan berkembangnya jenis-jenis radiofarmaka baru dan teknologi pencitraan canggih seperti SPECT dan PET, terapi radioisotop bergeser ke arah *theranostic* yang berarti kombinasi dari terapi dan diagnostik. Dalam hal ini proses terapi dilakukan berdasarkan hasil pencitraan diagnostik yang diperoleh dengan prosedur kedokteran nuklir, kemudian dilanjutkan dengan proses terapi dengan pemberian radiofarmaka. Beberapa radiofarmaka terapi yang saat ini sudah sering dipakai dalam kedokteran nuklir dapat dilihat dalam Tabel 1.

Pada terapi radioisotop untuk pengobatan kanker tiroid, dosis radiofarmaka yang

diinjeksikan pada pasien didasarkan pada perhitungan empiris, akan tetapi pada terapi radioisotop untuk kasus-kasus selain *thyrotoxicosis*, radiofarmaka yang disuntikkan biasanya dengan dosis lebih tinggi dan mempunyai kecenderungan untuk terdistribusi ke organ-organ yang lainnya. Oleh karena itu, diperlukan studi pencitraan menggunakan radiofarmaka yang sifatnya mirip dengan radiofarmaka yang akan dipakai untuk terapi (*tracer study*) yang bertujuan untuk memperkirakan dosis dan aktifitas radiofarmaka untuk terapi. Dalam referensi lain *treatment planning* untuk terapi radioisotop dapat juga dilakukan berdasarkan *cohort study*, misalnya dosis radiofarmaka yang diberikan berdasarkan berat badan pasien atau jumlah sel darah merah. Akan tetapi, terapi dengan menggunakan dosis sesuai data fisiologis yang spesifik bagi pasien, memberikan hasil yang optimal dan akan memaksimalkan dosis pada organ target (sel kanker) dan meminimalkan kerusakan pada jaringan sehat.

Tabel 1. Daftar aplikasi radiofarmaka untuk terapi kanker (Das, T. 2013)

Radiofarmaka	Digunakan untuk pengobatan
<sup>131</sup> I-Natrium Iodida	Hipertiroid, kanker tiroid
<sup>131</sup> I-MIBG	<i>Neuroblastoma</i>
<sup>153</sup> Sm-EDTMP	<i>Bone pain palliation</i>
<sup>89</sup> SrCl <sub>2</sub>	<i>Bone pain palliation</i>
<sup>186</sup> Re-HEDP	<i>Bone pain palliation</i>
<sup>188</sup> Re-HEDP	<i>Bone pain palliation</i>
<sup>12</sup> P – <i>orthophosphate</i>	<i>Bone pain palliation</i>
<sup>117m</sup> Sn-DTPA	<i>Bone pain palliation, polychythemia rubra vera</i>
<sup>90</sup> Y-DOTATATE	<i>Neuroendocrine cancers</i>
<sup>177</sup> Lu-DOTATATE	<i>Neuroendocrine cancers</i>
<sup>90</sup> Y- <i>Microspheres</i>	<i>Hepatocellular carcinoma</i>
<sup>131</sup> I- <i>Tositumomab</i>	<i>Non Hodgkin lymphoma</i>
<sup>90</sup> Y- <i>Ibritumomab-tiuxetan</i>	<i>Non Hodgkin lymphoma</i>

### Kuantifikasi Pencitraan dalam Pengkajian Dosimetri Internal

Dalam suatu studi dosimetri interna, disebutkan bahwa untuk mengefektifkan terapi dan meminimalkan toksisitas pada jaringan sehat,



*tracer study* sebagai studi awal pra dosimetri diperlukan sebagai bagian dari studi dosimetri radiasi internal untuk tujuan terapi, yang harus dilakukan sebelum terapi dengan injeksi radiofarmaka dosis tinggi, dengan mengacu pada data-data biokinetik pasien, radiofarmaka, jenis pelabelan, dan jenis radioisotop. Studi ini akan menghasilkan data berupa respon spesifik dari masing-masing pasien, sehingga dosimetri yang didapatkan dapat disebut *patient specific dosimetry* (PSD).

Untuk mendapatkan data PSD, diperlukan serangkaian akuisisi pencitraan menggunakan perangkat kedokteran nuklir seperti kamera gamma dan atau PET dalam rentang waktu tertentu untuk mengetahui respons injeksi radiofarmaka terhadap sel kanker ataupun organ-organ lainnya. Hasil pencitraan yang diperoleh gambar hasil pemindaian kamera gamma yang merupakan data kualitatif respons organ terhadap radiofarmaka. Akan tetapi data kualitatif ini harus diubah dalam bentuk data kuantitatif berupa aktivitas radiofarmaka dalam organ, sehingga data kualitatif yang berupa citra (*image*) tersebut perlu dilakukan analisis kuantitatif dengan menggunakan metode quantifikasi hasil pencitraan (*image quantification*).

Salah satu metode kuantifikasi yang terkenal adalah metode kuantifikasi pencitraan untuk dosimetry radiasi internal dalam bidang medis dalam pamphlet *Medical Internal Radiation Dosimetry (MIRD) No.16* yang berjudul *Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimation*, diterbitkan oleh Asosiasi Kedokteran Nuklir Amerika. Metode ini menggunakan serangkaian *whole body scan* dari kamera gamma berupa hasil pencitraan anterior dan posterior, kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan (1) dengan tambahan data-data yang diperlukan seperti faktor kalibrasi, atenuasi dan data-data radioisotop yang digunakan, serta dengan mempertimbangkan faktor koreksi cacah latar belakang (*background rate*). Aktivitas radiofarmaka di masing-masing

organ dapat diketahui dengan menggambarkan daerah (*region of interest, ROI*) pada organ yang diinginkan sebagaimana ditampilkan dalam contoh penggambaran ROI dalam Gambar 1. Setelah ROI dibuat, aktivitas radiofarmaka pada daerah yang diinginkan dapat diketahui dan dihitung menggunakan persamaan (1) berikut ini :

$$A_j = \sqrt{\frac{I_A I_P}{e^{-\mu_e t}} \frac{f_j}{C}} \quad (1)$$

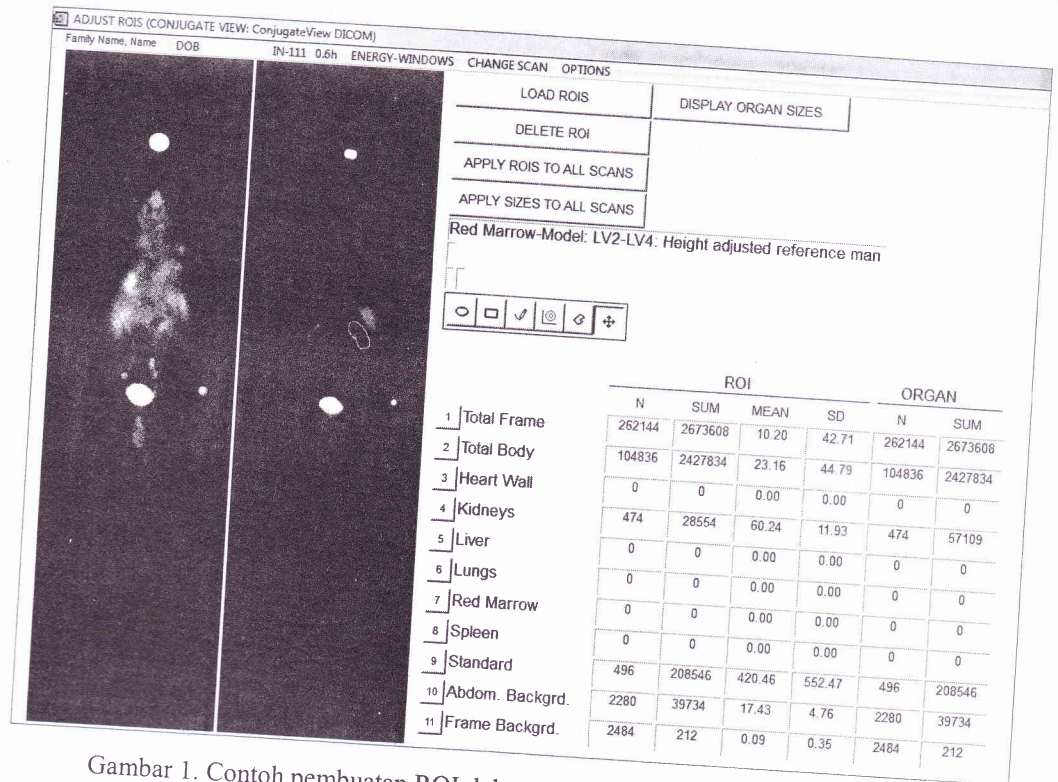
dengan :

- A : aktivitas
- $I_A, I_P$  : jumlah cacah anterior, posterior
- $e^{-\mu_e t}$  : faktor transmisi pasien dengan ketebalan t
- C : faktor kalibrasi sistem, (laju cacah/aktivitas)
- $f_j \leq 1$  : faktor koreksi t dan koefisien atenuasi

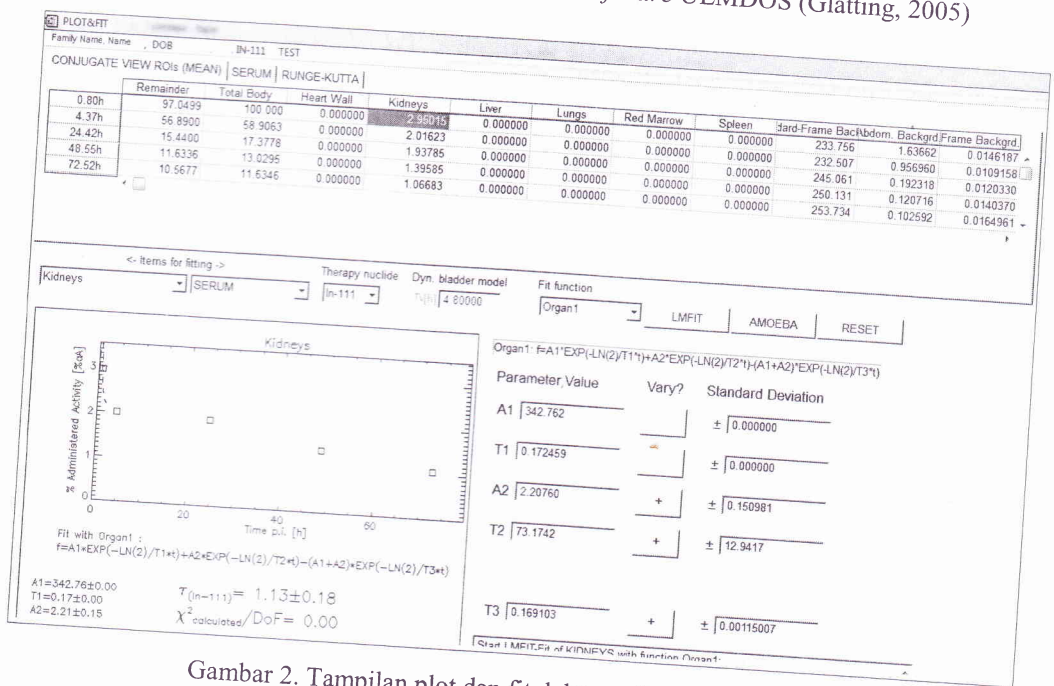
Dengan berdasarkan pada metode yang sama, *ULM University* di Jerman berhasil mengembangkan *software* bantu untuk perhitungan dosis internal radiasi medis yaitu *ULMDOS* untuk memudahkan pengkajian dosimetri internal radiasi medis di bidang kedokteran nuklir. Contoh tampilan *software* *ULMDOS* dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

*Software* ini juga dilengkapi dengan menu yang memungkinkan peneliti dapat memasukkan input seperti serum darah dan atau urin sebagai data fisiologi pasien yang dapat berguna sebagai input untuk melakukan model fisiologi berbasis farmakologi bagi pasien dengan bantuan *software modelling physiologically based pharmacokinetic (PBPk modelling)* seperti *SAAM2* dari *University of Washington*. Akan tetapi untuk prediksi perhitungan dosis, data serum darah ataupun urin tidak mutlak dilakukan.

Dengan bantuan *software* *ULMDOS*, hasil akuisisi kamera gamma dapat dianalisis sehingga dihasilkan nilai  $\tau$  (*residence time*) atau (*time integrated activity*) untuk masing-masing organ, yang diperlukan dalam proses perhitungan dosis menggunakan *software* *OLINDA/EXM*. *Software*



Gambar 1. Contoh pembuatan ROI dalam software ULMDOS (Glatting, 2005)



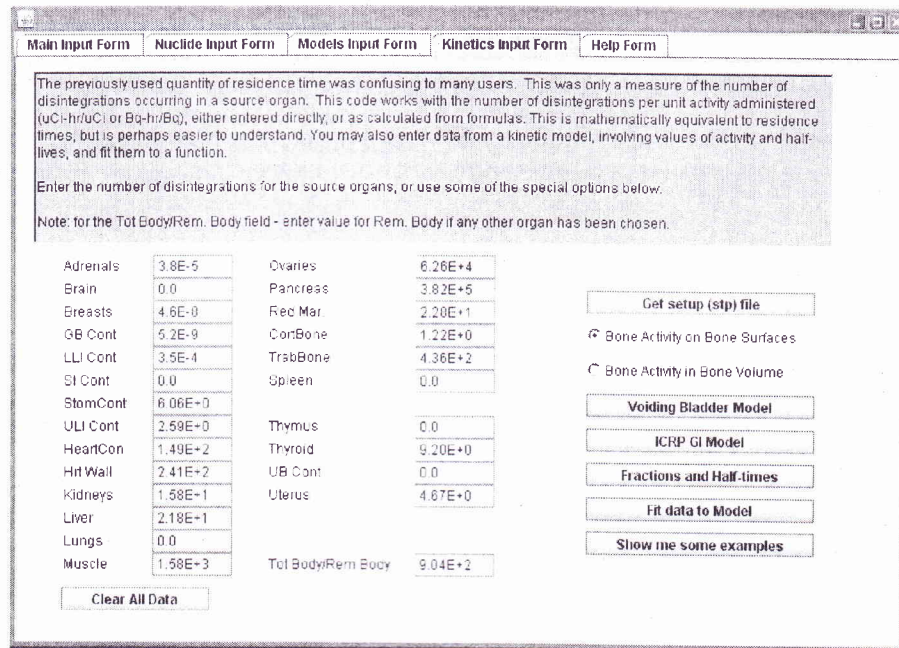
Gambar 2. Tampilan plot dan fit dalam software ULMDOS.

ini dibuat untuk memfasilitasi perhitungan dosimetri internal radiasi berbasis akuisisi pencitraan planar kamera gamma.

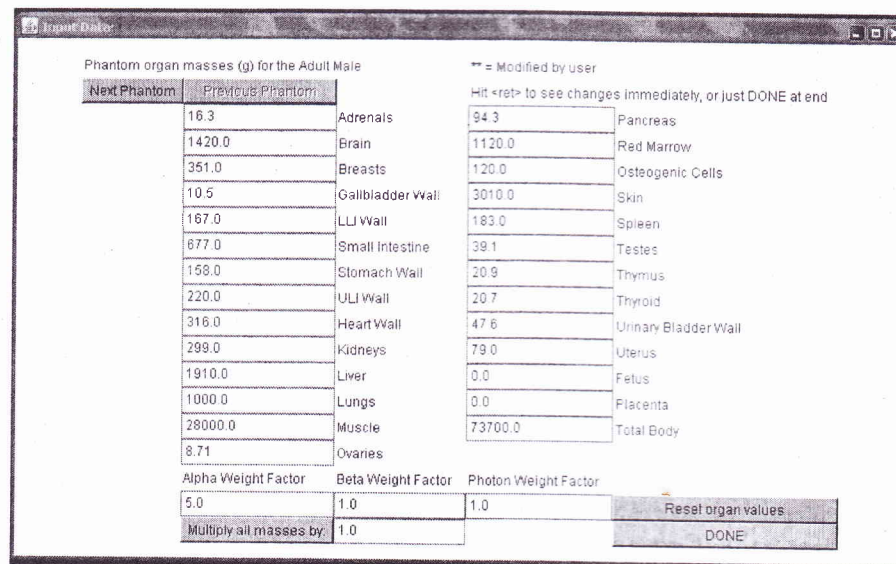
Setelah nilai  $\tau$  diperoleh, perhitungan dosis efektif pada organ yang diinginkan dapat

dilakukan dengan OLINDA/EXM dengan memberikan input model yang diinginkan, misalnya menggunakan model anak-anak dari usia 1, 5, 10 dan 15 tahun. Untuk model dewasa, tersedia model laki-laki dan perempuan, dengan





Gambar 3. Menu kinetik input form dalam OLINDA/EXM



Gambar 4. Menu input data untuk memodifikasi massa organ

tambahan model khusus perempuan dengan usia kehamilan 3, 6, 9 bulan. *Software* ini menyediakan perhitungan dosis untuk hampir 600 jenis radionuklida yang dapat dimasukkan dalam menu *nuclide input form*. Sedangkan nilai  $\tau$  dapat dimasukkan sebagai input pada menu *kinetic input form* sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3 untuk masing-masing organ yang diinginkan.

Berdasarkan model fantom yang ada, massa

masing-masing organ telah ditentukan di dalam masing-masing model tersebut. Akan tetapi jika diinginkan massa organ spesifik untuk masing-masing pasien, hal ini dapat dilakukan pada menu input data, seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.

Hasil akhir yang diperoleh pada OLINDA akan ditampilkan dalam bentuk dosis organ dalam .satuan (mSv/MBq). Oleh karena itu,

OLINDA dapat dipakai untuk memprediksi dosis efektif pada masing-masing organ berdasarkan nilai  $\tau$  (*time integrated activity coefficient*) yang diperoleh sebagai hasil tracer study dan dapat dianggap sebagai *patient specific dosimetry* yang memungkinkan untuk pasien menerima dosis yang sesuai dengan kondisi fisiologis masing-masing.

**PENUTUP**

Perkembangan dalam pengkajian internal dosimetri untuk terapi telah memungkinkan pasien akan menerima dosis yang spesifik dan sesuai dengan masing-masing kondisi fisiologis mereka. Sehingga diharapkan tujuan dari terapi radioisotop untuk pengobatan kanker ini benar-benar memaksimalkan kerusakan pada sel kanker dan dapat meminimalkan resiko bagi jaringan sehat melalui pengkajian dosimetri internal yang spesifik ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

BATAN, Proposal Fokus Bidang Kesehatan – Pembuatan Prototipe Radiofarmaka Untuk Diagnosis Infeksi dan Terapi Kanker Tersertifikasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, 2013.

BARRETT, P. H. R., et al., SAAM II: Simulation, Analysis, and Modelling Software for Tracer and Pharmacokinetic Studies, *Metabolism*, 47(4), 484–492, 1998.

CREMONESI, M. et al., Dosimetry in Peptide Radionuclide Receptor Therapy: A Review, *The Journal of Nuclear Medicine*, 47(9), 1467 – 1475, 2006.

DAS, T. & PILLAI, M.R.A., Options to meet the future global demand of radio-nuclides for radionuclide therapy, *Nuclear Medicine and Biology*, 40(1), 23–32, 2013.

FAN, Z. et al., Theranostic nanomedicine for cancer detection and treatment, *Journal of Food and Drug Analysis*, 22(1), 3-17, 2014.

FREY, E. C., HUMM, J. L., & LJUNGBERG, M., Accuracy and Precision of Radioactivity Quantification in Nuclear Medicine Images, *NIH Public Access*, 42(3), 208–218, 2013.

GLATTING, G. et al., Internal radionuclide therapy: The ULMDOS software for Treatment Planning, *Medical Physics*, 32(7), 2399, 2005.

GLATTING, G., BARDIÈS, M., & LASSMANN, M., Treatment Planning in Molecular Radiotherapy, *Zeitschrift Für Medizinische Physik*, 23(4), 262–269, 2013.

LYRA, M., et al., Patient Specific Dosimetry in Radionuclide Therapy, *Radiation Protection Dosimetry*, 147(1), 258–263, 2011.

MACEY, D. J., et al., A Primer for Radioimmunotherapy and Radionuclide Therapy, Report of Task Group # 7, American Association of Physicists in Medicine, Medical Physics Publishing, 2001.

MC PARLAND, B., *Nuclear Medicine Radiation Dosimetry – Advanced Theoretical Principles*, Springer, London, 455-457, 2010.

OLINDA/EXM, Radiation Dose Assessment Software Application (FDA Approved) diunduh dari : <http://www.vanderbilt.edu/cttc/execsumm/MKT0338.pdf>

ROLLEMAN, E. J. et al., Kidney Protection during Peptide Receptor Radionuclide Therapy with Somatostatin analogues, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 37, 1018–1031, 2010.

SATHEKGE, M., Targeted Radionuclide Therapy, *Continuing Medical Education*, 31(8), 289–294, 2013.

SIANTAR, C.H., et al., Treatment planning for molecular targeted radionuclide therapy, *Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals*, 17(3), 267–280, 2002.

SIEGEL et al., MIRD Pamphlet no.16 : Techniques for Quantitative Radiopharmaceutical Biodistribution Data Acquisition and Analysis for Use in Human Radiation Dose Estimates, *Journal of Nuclear Medicine* (40), 37S-61S, 1999.

SILBERSTEIN, E.B., Radioiodine: The Classic Theranostic Agent, *Seminars in Nuclear Medicine*, 42(3), 164-170, 2012.

UU No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaga Nukliran, 1997.