

PERTEMUAN ILMIAH RADIOISOTOP, RADIOFARMAKA, DAN SIKLOTRON

Gedung Graha Widya Bhakti (Gedung 123), Kawasan PUSPIPTEK
Serpong, Tangerang Selatan

3 November 2016

*"Meningkatkan Sinergi dalam Pengembangan dan
Pendayagunaan Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan
Siklotron untuk Kesejahteraan Masyarakat"*



**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
PUSAT TEKNOLOGI RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA**

GEDUNG 11, KAWASAN PUSPIPTEK, TANGERANG SELATAN, BANTEN

TEL./FAX : (021) 756 3141

email : pr@batan.go.id

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kami panjatkan kehadiran Allah atas petunjuk dan karunia yang telah diberikan sehingga Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron 2016 dengan tema “Meningkatkan Sinergi dalam Pengembangan dan Pendayagunaan Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron untuk Kesejahteraan Masyarakat” dapat diterbitkan. Prosiding ini merupakan kumpulan karya ilmiah para peneliti dari berbagai instansi yang telah lolos proses seleksi yang dilakukan oleh tim penelaah dan telah dipresentasikan dalam pertemuan ilmiah yang diselenggarakan oleh Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR-BATAN) dan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI) yang didukung oleh *International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan Universitas Indonesia. Pertemuan ilmiah ini diselenggarakan pada tanggal 3 November 2016 di Ruang 101, Graha Widya Bhakti, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan. Kumpulan karya ilmiah yang disajikan dalam prosiding ini adalah karya ilmiah yang telah melewati proses revidi dan koreksi. Pertemuan Ilmiah Tahunan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron 2016 diikuti oleh 294 peserta yang berasal dari 9 Lembaga Pemerintah Non Kementrian, 13 perwakilan Rumah Sakit, 18 Universitas, 7 perwakilan industri dan 2 orang perwakilan dari luar negeri yaitu dari *School of Pharmacy, Chiba University* dan *Ion Beam Applications (IBA), Asia Pacific* yang berbasis di Malaysia. PTRR dan RISTEKDIKTI sebagai pihak penyelenggara seminar menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua peserta dan pembawa makalah yang telah berpartisipasi dalam seminar dan aktif memberikan masukan yang bermanfaat bagi semua makalah yang dipublikasikan. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada seluruh Dewan Editor yang telah membantu dalam seleksi, penilaian dan peningkatan mutu makalah untuk bisa dipublikasikan dalam Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron 2016. Terimakasih pada seluruh anggota dewan redaksi yang telah bekerja keras untuk menyusun dan menerbitkan prosiding ini, serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelenggaraan seminar sampai dapat diterbitkannya prosiding ini. Besar harapan kami bahwa Prosiding ini berguna bagi para pembaca serta semua rekan seprofesi dan dapat menjadi acuan dan titik tolak untuk mencapai kemajuan yang lebih besar untuk perkembangan di bidang radioisotop, radiofarmaka dan siklotron. Kami sadari bahwa seminar dan prosiding ini tidak lepas dari berbagai kekurangan. Kami mohon maaf dan kritik serta saran yang bersifat membangun demi perbaikan dimasa datang selalu kami harapkan dari rekan sejawat dan pembaca yang budiman.

Serpong, 13 Maret 2017

Tim Editor

Dewan Editor / Penelaah Prosiding PIT 2016

1. Dr. Martalena Ramli (PTRR-BATAN)
2. Drs. Hari Suryanto, M.T (PTRR-BATAN)
3. Drs. Adang Hardi Gunawan, Apt. (PTRR-BATAN)

Penulis

Pemakalah pada Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016 Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron

SUSUNAN PANITIA

Penasihat	: Dra. Siti Darwati, M.Sc	(BATAN)
	Dr. Ir. Sri Setiawati, M.A	(PUSPIPTEK)
Panitia Pengarah	: Drs. Hotman Lubis	(BATAN)
	Dr. Rohadi Awaludin	(BATAN)
	Dadan Nugraha, S.Si., MT	(PUSPIPTEK)
	Dra. R. Suminar Tedjasari	(BATAN)
	Didik Setiaji, ST	(BATAN)
	Aceu Turyana, S.Kom	(BATAN)
Panitia Pelaksana		
Ketua	: I Wayan Widiana, S.T	(BATAN)
Sekretaris	: Fath Priyadi, S.ST	(BATAN)
Bendahara	: Diah Pristiawati	(BATAN)
Seksi- Seksi		
Ilmiah	: Dr. Martalena Ramli	(BATAN)
	Drs. Hari Suryanto, M.T	(BATAN)
	Drs. Adang H. G., Apt.	(BATAN)
Acara & Persidangan	: Dr. Imam Kambali	(BATAN)
	V. Yulianti Susilo, M.Farm	(BATAN)
	Amal Rezka Putra, S.Si	(BATAN)
	Ifuk Permana, S.Kom	(PUSPIPTEK)
	Edy Margana, S.Sos	(PUSPIPTEK)

Pendanaan	:	Drs. Agus Ariyanto, M.Farm	(BATAN)
		Didik Setiaji, ST	(BATAN)
Kesekretariatan	:	Umi Nur Sholikhah, M.Sc	(BATAN)
		Indra Saptiama, S.Si	(BATAN)
		Wira Y. Rahman, A.Md	(BATAN)
		Miftahul Munir, S. Farm, Apt	(BATAN)
		Ganang Sukoco	(PUSPIPTEK)
Konsumsi	:	Triani Widyaningrum, S.ST	(BATAN)
		R. Nenden Dewi Nursih	(BATAN)
		Yunita Noviasuti	(PUSPIPTEK)
Perlengkapan dan Transportasi	:	Syefudin Ichwan, S.T	(BATAN)
		Parwanto, S.ST	(BATAN)
		Agus Aritonang	(PUSPIPTEK)
		Didi Jubiadi	(PUSPIPTEK)

LAPORAN KETUA PANITIA

Puji Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena Pertemuan Ilmiah Tahunan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron 2016 dapat terselenggara pada Kamis, 3 November 2016 di Gedung Graha Widya Bhakti, Kawasan PUSPIPTEK. Pertemuan Ilmiah Tahunan ini dapat terlaksana tidak terlepas dari kerja sama Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka-BATAN, Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK)-Kemenristekdikti, *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dan Fakultas Farmasi Universitas Indonesia.

Tema pada acara Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016 adalah "Meningkatkan Sinergi dalam Pengembangan dan Pendayagunaan Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron untuk Kesejahteraan Masyarakat", dalam rangka meningkatkan peran lembaga litbang dan aplikasinya untuk kesejahteraan masyarakat. Banyak cara yang diperlukan untuk meningkatkan peran antarlembaga diantaranya interaksi antara peneliti dan pengguna produk penelitian serta mitra industri yang telah dirintis selama beberapa tahun terakhir. Interaksi diharapkan untuk meningkatkan kesempatan dalam melaksanakan penelitian dan pengembangan hasil dalam bentuk produk rutin yang dibutuhkan oleh pengguna.

Tujuan pelaksanaan pertemuan ilmiah tahunan ini adalah untuk memperoleh informasi perkembangan terbaru mengenai teknologi nuklir terkait dengan Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron. Peningkatan intensitas interaksi antara pelaku kegiatan litbang di bidang radioisotop, radiofarmaka, dan siklotron dengan pemangku kepentingan sehingga terbentuk kegiatan yang saling mendukung. Selain itu, pertemuan ini juga dimaksudkan untuk menyampaikan hasil-hasil litbang diantara para pelaku, juga kepada mitra-mitra potensial, agar dapat ditindaklanjuti pendayagunaannya.

Acara Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016 meliputi presentasi dari pembicara undangan, presentasi poster dan sesi diskusi. Pertemuan Ilmiah Tahunan 2016 diikuti lebih dari 200 peserta meliputi tamu undangan, peserta pemakalah dan peserta pendengar dari berbagai instansi. Para peserta pendengar berasal dari berbagai instansi termasuk dari lembaga penelitian, rumah sakit, industri, universitas serta pembuat kebijakan. Acara khusus ini secara resmi dibuka oleh Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional, Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto. Pembicara tamu berasal dari Kemenristekdikti. Pembicara utama yaitu Prof. Yasushi Arano (Chiba University, Jepang), Mr. Peter Leitner (IBA-Malaysia), Dr. Hendig Winarno, M.Sc (Deputi Bidang Pendayagunaan Teknologi Nuklir-BATAN), Ir. Bambang Herutomo (PT Industri Nuklir Indonesia), Dr. Abdul Mun'im (Fakultas Farmasi, UI), dr. Yustia Tuti, Sp.KN (RS Kanker Dharmais, Jakarta), Dr. Anhar Riza Antariksawan (PTKRN-BATAN), Dr. Sugiharto (PAIR-BATAN), Dr. dr. Basuki Hidayat, SpKN(K)-UNPAD, dan Dr. Rohadi Awaludin (PTRR-BATAN).

Seluruh panitia mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dan mendukung kesuksesan acara pertemuan ilmiah ini dan juga memohon maaf jika terdapat kekurangan dan ketidaknyamanan selama acara berlangsung.

Ketua Panitia

I Wayan Widiyana, ST

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Dewan Editor / Penelaah Prosiding PIT 2016	ii
Susunan Panitia	iii
Laporan Ketua Panitia	v
Daftar isi	vi
Pengembangan dan Pendayagunaan Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron Rohadi Awaludin, Hotman Lubis dan Siti Darwati	1-7
Penentuan Faktor Koreksi Attenuasi dan Faktor Kalibrasi Kamera Gamma pada Pencitraan ^{177}Lu untuk Protokol Dosimetri Terapi Nur Rahmah Hidayati, Prasetya Widodo, Titis Sekar Humani, dan Martalena Ramli	8-13
Optimasi Mini Chiller Pada Operasi FCU CAVE Siklotron Mulyono, Sofyan Sori, Suryo Priyono, I Wayan Widiana	14-18
Sistem Manajemen Dosis Pada Proses Perakitan Generator Tc-99m Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti RPS	19-23
Uji Potensi Siput Macan <i>Babylonia spirata l.</i> sebagai Bioakumulator dan Depurator Plutonium ($^{239/240}\text{Pu}$) Muhammad Qowi Fikri, Murdahayu Makmur, Heny Suseno	24-34
Pembatasan Dosis pada Komisioning Laboratorium Radioisotop dan Radiofarmaka Rr. Djarwanti Rahayu, Fath Priyadi, Didik Setiaji	35-40
Analisis Karbon-14 pada Terumbu Karang Menggunakan Pencacah Sintilasi Cair Alfian Noor, Maming, Muhammad Zakir, dan Nurlina Kasim	41-44
Integrasi Sistem Proteksi Transformator <i>Stepdown</i> Dengan Sistem Proteksi Tegangan Menengah Guna Menunjang Litbang Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron I Wayan Widiana, Jakaria, Suryo Priyono dan Hermanto	45-51
Evaluasi Pembuatan Iodium-125 Menggunakan Sasaran Gas Xenon-124 Diperkaya 99,98% Daya Agung S., Sriyono, Indra Saptiama dan Abidin	52-57
Kalibrasi Sumber <i>Brachytherapy</i> ^{137}Cs, ^{60}Co dan ^{192}Ir, <i>Quality Assurance</i>, dan Aspek Keselamatannya di SSDL-IAEA Nazaroh dan Gatot Wurdianto	58-69

Rancangan Fasilitas Proses $^{153}\text{Samarium-EDTMP}$ Diandono Kuntjoro Yoga, Suhandar dan Suryo Priyono	70-74
Aplikasi Metode Spektrofotometri UV-Vis untuk Menguji Kadar Lepas Hipoklorit Dalam Eluat Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Berbasis Material Berbasis Zirkonium (MBZ) Miftakul Munir, Siska Febriana, Witarti	75-79
Prospek Pengembangan Kegiatan Radiofarmasi Berdasarkan Hasil Audit Quality Management Audits In Nuclear Medicine Practices (QUANUM) Herta Astarina, Ferdi Dwi Listiawadi, Ratu Ralna Ismuha, Nurhuda, Kardinah	80-85
Analisis Dampak Pengoperasian Sistem Pompa Vakum Secara Tak Kontinyu Terhadap Kinerja dan Laju Pemompaannya pada Siklotron CS-30 Batan S.Ichwan, Parwanto, H.Suryanto	86-92
Perancangan dan Simulasi Jalur Pendingin Komponen Cavity Sistem RF Siklotron 13 MeV Rian Suryo Darmawan, Kurnia Wibowo	93-101
Penentuan Energi Berkas Proton Menggunakan Metode Aktivasi Susunan Foil Tembaga Ade Riana, Imam Kambali, Hari Suryanto	102-107
Rancangan Pemegang Target Padat Untuk Produksi Radionuklida Tc-99m Berbasis Siklotron Rajiman	108-113
Optimasi Waktu Inkubasi Sintesis Nukleotida Bertanda $[\gamma\text{-}^{32}\text{P}]\text{GTP}$ Wira Y Rahman, Endang Sarmini, Herlina, Abidin, Triyanto, Hambali	114-118
Penentuan Konsentrasi Gas Argon-41 dalam Ruang Siklotron 13 MeV dengan Metode Monte Carlo R. Tursinah, Bunawas, P.I. Yazid, A. Suherman	119-124
Desain Awal Aplikasi <i>Wireless Identification and Sensing Platform (WISP)</i> pada Radioterapi Berbasis Berkas Eksternal Heranudin	125-130
Perawatan dan Uji Fungsi Rutin Sistem Saluran Berkas Utama Siklotron CS-30 BATAN Parwanto, Edi Slamet R., Syefudin Ichwan, Hari Suryanto	131-136
Pelabelan Isotop ^{32}P dan ^3H untuk Menunjang Diagnosis Penyakit Akibat Infeksi Mikroorganisme Mukh Syaifudin dan Zubaidah Alatas	137-145
Penentuan Osmolalitas Senyawa Bertanda dan Kit Radiofarmaka Amal Rezka Putra, Maskur, Adang Hardi Gunawan, Enny Lestari	146-152
Analisa dan Karakterisasi Seed Keramik Radioisotop Yttrium-90 Untuk Brakiterapi Cahyana Amiruddin, Herlan S, M. Subechi, D. Agung S, Anung P	153-159

Analisis Impuritas Produksi Radionuklida ^{18}F Berbasis Siklotron Eclipse 11 MeV	160-166
Alan Hofni Putra Bonay, Hari Suryanto, Imam Kambali	
Pengaruh Pemberian Beberapa Antibiotik Terhadap Efektivitas Radiofarmaka $^{99\text{m}}\text{Tc}$-Siprofloksasin Sebagai Penyidik Infeksi	167-174
Rizky Juwita Sugiharti, Silvie Rahmawati Hegarsasiwi, Muharam Marzuki	

PENENTUAN FAKTOR KOREKSI ATTENUASI DAN FAKTOR KALIBRASI KAMERA GAMMA PADA PENCITRAAN ^{177}Lu UNTUK PROTOKOL DOSIMETRI TERAPI

Nur Rahmah Hidayati¹, Prasetya Widodo¹, Titis Sekar Humani², dan Martalena Ramli²

¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN
Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12070

²Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka
Kawasan Puspiptek Gedung 11, Serpong, Tangerang Selatan

Email : inn98@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN FAKTOR KOREKSI ATTENUASI DAN FAKTOR KALIBRASI KAMERA GAMMA PADA PENCITRAAN ^{177}Lu UNTUK PROTOKOL DOSIMETRI TERAPI. Radioisotop ^{177}Lu merupakan salah satu radioisotop yang akhir-akhir ini banyak digunakan dalam terapi menggunakan radionuklida untuk berbagai penyakit kanker. Perkembangan terakhir menunjukkan bahwa dalam terapi radionuklida, studi dosimetri internal radiasi diperlukan untuk mendukung persiapan terapi (treatment planning), sekaligus dapat juga dipakai sebagai evaluasi terapi. Salah satu langkah dalam studi dosimetri internal radiasi memerlukan adanya proses kuantifikasi hasil pencitraan dengan kamera gamma planar ataupun SPECT. Dalam proses kuantifikasi ini perlu diketahui faktor koreksi atenuasi radioisotop yang dipakai dan faktor kalibrasi instrumen yang akan digunakan dalam proses akuisisi pencitraan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari faktor koreksi atenuasi ^{177}Lu dalam media air dan faktor kalibrasi instrumen kamera gamma Mediso AnyScan S. Hasil dari penelitian ini nantinya akan digunakan dalam persiapan pembuatan protokol studi dosimetri internal radiasi menggunakan ^{177}Lu . Penelitian dilakukan dengan melakukan kuantifikasi pencitraan radioisotop ^{177}Lu dalam wadah jarum suntik yang dimasukkan dalam phantom air dengan variasi ketebalan/ ketinggian air, antara 1 sampai 9 cm. Faktor kalibrasi kamera gamma untuk ^{177}Lu diperoleh dengan cara melakukan prosedur uji sensitivitas detektor kamera gamma Mediso Anyscan S pada akuisisi sumber radioisotop ^{177}Lu . Dari studi ini, diperoleh koefisien atenuasi radioisotop ^{177}Lu pada media air sebesar 0.2 cm^{-1} dan faktor kalibrasi sistem kamera gamma Mediso AnyScan S sebesar $380.4\text{ cps}/\mu\text{Ci}$.

Kata kunci : faktor atenuasi ^{177}Lu dan kalibrasi kamera gamma, protokol dosimetri interna

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF ATTENUATION CORRECTION AND CALIBRATION FACTORS OF CAMERA GAMMA IN THE ^{177}Lu IMAGE ACQUISITION FOR INTERNAL DOSIMETRY PROTOCOL. Lu-177 is one of radioisotopes which has been used in radionuclide therapy for various kind of cancers. The latest development showed that in radionuclide therapy, internal radiation dosimetry study is a necessary step which might support the preparation of therapy (treatment planning), and can be used for therapy evaluation. One of steps in internal radiation dosimetry study requires the image quantification as a result of either planar imaging or SPECT. In the process of image quantification, the attenuation correction factor and the instrument calibration factor should be known prior performing of the image quantification. This study aimed to investigate the attenuation correction factor of ^{177}Lu in water as tissue equivalent material. Furthermore, this study can also be used for preparing the dosimetry protocol using ^{177}Lu . The study was carried out by acquiring ^{177}Lu in a syringe

which was inserted in the water phantom with variation of the thickness / height of the water, started from 1 to 9 cm. Gamma camera calibration factor for ^{177}Lu was obtained by performing a sensitivity test of Mediso Anyscan S gamma camera detector towards radioisotop ^{177}Lu . The result shows that, the attenuation correction factor of ^{177}Lu in water is 0.2 cm^{-1} and the gamma camera system calibration factor for Mediso AnyScanS is about $380.4\text{ cps} / \mu\text{Ci}$.

Key words : ^{177}Lu attenuation factor, gamma camera calibration factor, dosimetry protocol

PENDAHULUAN

Perkembangan produksi radiofarmaka untuk diaplikasikan dalam bidang kedokteran nuklir telah mendorong dilakukannya penelitian-penelitian produksi radiofarmaka jenis baru baik untuk tujuan terapi maupun diagnostik. Salah satunya adalah radiofarmaka berbasis ^{177}Lu yang dikembangkan dan diproduksi oleh Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) BATAN yang akan digunakan untuk keperluan terapi.

Lutetium-177 (^{177}Lu) adalah radionuklida yang memiliki sifat fisik yang sesuai untuk digunakan pada pencitraan dan pengobatan jaringan target yang sesuai. Lu-177 mengemisikan partikel β dengan E max 497 keV (78,6%) dan 176 keV (12,2%) yang sesuai untuk radioterapi internal kanker berukuran kecil (daya tembus 0.2-0.3 mm) dan emisi γ nya (113 keV, 6,4%) dan 208 keV (11%) cukup ideal untuk pencitraan karena sangat dekat dengan emisi γ dari $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang merupakan radionuklida yang paling banyak dimanfaatkan di kedokteran nuklir. Agar radionuklida ini bisa efektif untuk prosedur yang disebutkan diatas, radionuklida harus ditargetkan pada organ atau penyakit yang ditargetkan.

Ada beberapa radiofarmaka berbasis ^{177}Lu yang telah digunakan dan dalam status uji preklinis/ klinis untuk tujuan terapi berbagai jenis kanker. Radiofarmaka yang telah digunakan untuk terapi diantaranya adalah ^{177}Lu -EDTMP untuk terapi paliatif tulang (X), ^{177}Lu -DOTA-TOC/ ^{177}Lu -DOTA-TATE/ ^{177}Lu -DOTA-NOC untuk terapi kanker neuro endokrin yang disebut juga peptide receptor radionuclide therapy (PRRT) (5), ^{177}Lu -DOTA-PSMA untuk terapi kanker prostat. Salah satu radiofarmaka berbasis ^{177}Lu yang saat ini dalam status uji preklinis atau klinis diantaranya adalah ^{177}Lu -DOTA-Trastuzumab terapi kanker payudara over expressed HER-2 [4]

Dalam kasus terapi menggunakan radionuklida, studi dosimetri internal melalui evaluasi dosis radiasi yang diterima oleh pasien (Stabin) sangat diperlukan untuk menjamin keselamatan pasien. Pada terapi kanker, studi dosimetri radiasi diperlukan untuk perencanaan terapi (*treatment planning*), analisis respon dosis, prediksi efektivitas terapi, dan juga sertifikasi keamanan produk. Metode yang paling sering digunakan untuk menghitung dosis internal adalah metode yang dikembangkan oleh komite masyarakat kedokteran nuklir Amerika yaitu *Medical Internal Radiation Dosimetri* (MIRD).

Kuantifikasi pencitraan merupakan langkah awal dalam protocol dosimetri terapi radionuklida. Tujuan utama pembuatan protocol dosimetri adalah agar dapat diperoleh perencanaan terapi yang memungkinkan untuk meminimalisir kerusakan pada organ dan memaksimalkan radiasi pada jaringan target[10]

Salah satu metode kuantifikasi pencitraan yang sering digunakan adalah menggunakan kamera gamma planar dengan akuisisi yang berurutan, kemudian dilanjutkan dengan metode *View Conjugate* seperti yang telah dipublikasi oleh Komite MIRD No.16 [11]. Kuantifikasi pencitraan dengan metode MIRD 16 memungkinkan para klinisi dan peneliti untuk melakukan studi dosimetri yang spesifik berbasis data fisiologi pasien (*patient specific dosimetri/ individualized patient dosimetri*) [12]. Sebagaimana disampaikan dalam beberapa studi dosimetri [13-15] dalam terapi radionuklida terarah (*targeted radionuclide therapy*), setiap pasien dapat menerima dosis yang sesuai dengan data fisiologi masing-masing pasien berdasarkan hasil proses studi dosimetri menggunakan metode kuantifikasi pencitraan.

Kofisien attenuasi linear (μ) menyatakan besaran fraksi foton sinar gamma yang diserap oleh material per satuan ketebalan material (mm^{-1} atau cm^{-1}), sehingga jumlah foton yang hilang setelah melewati ketebalan tertentu

sebesar Δx dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$n = \mu N \Delta x \quad (1)$$

dimana :

n = jumlah foton yang hilang

N = jumlah insiden foton pada material

Δx = ketebalan bahan

Jika dibandingkan antara jumlah insiden foton sebelum memasuki bahan, terdapat hubungan eksponensial yaitu:

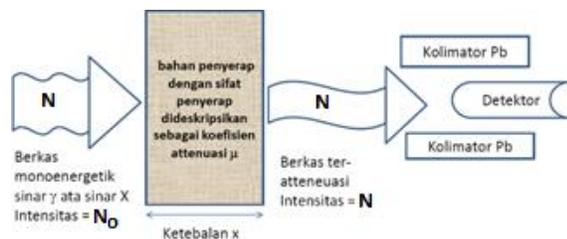
$$N = N_0 e^{-\Delta x} \quad (2)$$

Dimana :

N = Jumlah foton insiden setelah melewati ketebalan x

N_0 = Jumlah insiden foton sebelum melewati ketebalan x

Seperti yang dilaporkan pada penentuan koefisien atenuasi untuk sumber Tc-99m sebelumnya [16], persamaan diatas dapat digambarkan dalam skema berikut ini :



Gambar 1. Proses atenuasi sinar γ [16]

Probabilitas interaksi antara foton gamma dan material yang dilewatinya tergantung pada jumlah foton insiden dan densitas material [17].

Air sering digunakan sebagai water phantom untuk melakukan validasi atenuasi pada foton gamma karena dianggap memiliki densitas yang hampir sama dengan tubuh manusia. [18]

Selain air, beberapa material yang lain dengan materi dan sifat fisis yang berbeda, juga dapat digunakan. Sebagai contoh adalah *polystyrene*, *polymethylmethacrylate* (PMAA, Acrylic), dan resin [19].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penentuan faktor atenuasi ^{177}Lu dan faktor

kalibrasi kamera gamma yang diatur untuk akuisisi pencitraan ^{177}Lu .

METODOLOGI

Penentuan koefisien atenuasi dilakukan dengan cara melakukan pencitraan planar menggunakan kamera gamma Mediso AnyScan S pada jarum suntik (*syringe*) yang berisi radioisotop ^{177}Lu sebesar 540 MBq. Pencitraan yang pertama dilakukan dalam media udara, sehingga hasil pencitraan planar yang pertama dapat digunakan untuk penentuan faktor kalibrasi kamera gamma Mediso AnyScan S yaitu dengan cara membandingkan nilai cacah pada gamma camera Mediso AnyScan S dengan hasil pengukuran aktivitas radioisotop ^{177}Lu dengan menggunakan dose calibrator Victoreen 34-056/35-056. Selanjutnya jarum suntik diletakkan dalam phantom buatan (wadah air) yang sudah diberikan tanda pengukur ketinggian, dimulai dari ketinggian air 1 cm dan dilanjutkan sampai dengan ketinggian 9 cm..

Akuisi dilakukan dengan menggunakan kolimator *Medium Energy General Purpose* (MEGP). Untuk setiap kali pencitraan dilakukan selama 1 menit. Hasil pencitraan dianalisis dengan software Mediso InterviewXP, dengan cara membuat *region of interest* (ROI) pada citra hasil akuisisi. Hasil kuantifikasi citra berupa laju cacah yang kemudian diplotkan ke dalam grafik mengikuti persamaan (2) di atas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan koefisien atenuasi ^{177}Lu ini merupakan penelitian awal dalam rangka persiapan protokol dosimetri untuk terapi kanker payudara *over expressed* HER-2 dengan menggunakan ^{177}Lu -DOTA-Trastuzumab. Pada tulisan sebelumnya penentuan koefisien atenuasi untuk Tc-99m telah dilakukan [16]. Mengacu pada metode yang sama, maka pada penentuan koefisien atenuasi ^{177}Lu ini digunakan media air (*water phantom*). Untuk memperoleh koefisien atenuasi isotop ^{177}Lu dengan menggunakan kolimator MEGP dan setting energi pada kamera gamma Mediso AnyScan sebesar 206 keV dengan *window* 20%. Hasil kuantifikasi diplotkan dalam bentuk dibuat grafik linier antara nilai cacahan dari hasil pencitraan planar sumber yang dikonversi dalam bentuk log natural ($\ln I$) versus variasi ketebalan

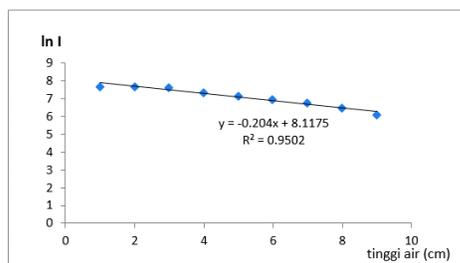
(x). Nilai kemiringan (μ) diperoleh dari penurunan persamaan sebagai berikut:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

$$\ln I = \ln(I_0 e^{-\mu x})$$

$$\ln I = \ln(I_0) - \mu x$$

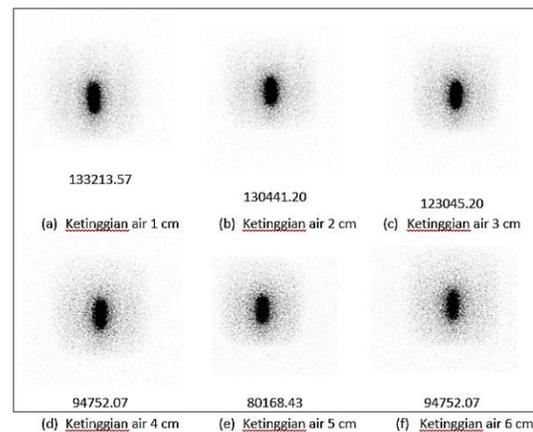
Sehingga dari persamaan linier tersebut diperoleh nilai koefisien atenuasi ^{177}Lu dalam media air sebesar 0.20 cm^{-1} . Hasil atenuasi ini masih perlu dievaluasi lagi dengan kondisi pengukuran yang berbeda, misalnya faktor geometri sumber, jarak detektor ke sumber, besarnya aktivitas sumber, dan jenis kolimator medium, sehingga didapatkan kondisi optimum dengan tingkat akurasi pengukuran yang tinggi.



Gambar 2. Hubungan variasi ketinggian air terhadap logaritma intensitas ^{177}Lu

Pada saat pelaksanaan studi atenuasi, diperoleh nilai laju cacah radioisotop ^{177}Lu tanpa media air yang jumlahnya jauh lebih kecil daripada dengan media air setinggi 1 cm. Secara teori, insiden foton gamma tanpa media atenuasi, seharusnya laju cacah yang tertangkap oleh detektor jauh lebih besar karena tidak ada media yang menyerap energi insiden foton gamma tersebut. Berkurangnya jumlah insiden foton gamma yang tertangkap oleh detektor ini disebabkan oleh fenomena yang disebut sebagai waktu mati detektor (*dead time*) yang disebabkan oleh hilangnya interaksi antara insiden foton gamma dan detektor sehingga insiden foton yang datang tidak dapat diolah menjadi sinyal yang dapat diproses sepenuhnya oleh sistem kamera gamma, sehingga tidak memberikan kontribusi laju cacah. Untuk mencegah timbulnya waktu mati ini, proses pembacaan insiden foton dan sinyal yang diperoleh harus dipersingkat. Sebagai contoh, beberapa kamera gamma telah menggunakan komponen *Charge-coupled devices* (CCDs) dan menggunakan CMOS sebagai detektor [20].

Pada studi ini, kolimator yang dipilih adalah kolimator dengan *medium energi general purpose* (MEGP), merujuk pada referensi [17] yang menyatakan bahwa untuk akuisisi radioisotop dengan energi antara 150-400 KeV, sebaiknya menggunakan dengan tingkat energi medium. Dalam satu referensi, dinyatakan bahwa pemilihan kolimator yang tidak tepat akan menyebabkan timbulnya radiasi scatter yang disebabkan oleh tertangkapnya sinyal yang tidak dikehendaki dan dapat memberikan tambahan laju cacah, tetapi tidak mewakili laju cacah sebenarnya, sehingga akan mempengaruhi proses kuantifikasi hasil pencacahan.



Gambar 3. Contoh hasil akuisisi pencitraan dan hasil kuantifikasi citra

Gambar 3 menunjukkan beberapa contoh hasil akuisisi pencitraan dengan ketinggian air yang berbeda-beda, tetapi secara visual memberikan hasil kualitatif yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi jika diamati dengan cara melakukan analisis kuantitatif pada hasil citra nya, perbedaan tinggi 1 cm akan memberikan nilai laju cacah yang berbeda.

Oleh karena itu, disinilah letak pentingnya peranan kuantifikasi hasil pencitraan dalam proses studi protokol dosimetri, dimana hasil analisis citra secara kuantitatif akan memberikan data yang spesifik dan terukur.

Faktor kalibrasi kamera gamma untuk ^{177}Lu diperoleh dengan cara melakukan prosedur uji sensitivitas detektor kamera gamma Mediso AnyscanS pada akuisisi sumber radioisotop ^{177}Lu . Dari studi ini, diperoleh koefisien atenuasi radioisotop ^{177}Lu pada media air sebesar 0.2 cm^{-1} dan faktor kalibrasi sistem

kamera gamma Mediso AnyScan S sebesar 380.4 cps/mCi.

Dalam kasus terapi radionuklida menggunakan ^{177}Lu , beberapa referensi menyebutkan metode studi dosimetri internal yang dilakukan dengan menggunakan kuantifikasi hasil pencitraan kamera gamma planar adalah metode yang paling sederhana, meskipun hasilnya kurang akurat jika dibandingkan dengan menggunakan metode SPECT/CT ataupun PET/CT. Dengan diperolehnya koefisien atenuasi linier ^{177}Lu dan faktor kalibrasi ini, maka dengan setting yang sama (energi, kolimator, jarak dari sumber ke detektor), kamera gamma tersebut dapat mulai digunakan untuk studi dosimetri, dengan catatan kamera gamma dalam kondisi kinerja yang baik yang ditunjukkan dengan hasil *Quality Control* yang telah dilakukan.

KESIMPULAN

Diperoleh hasil koefisien atenuasi radioisotop ^{177}Lu pada media air sebesar $0,2\text{ cm}^{-1}$ dan faktor kalibrasi sistem kamera gamma Mediso AnyScan S sebesar 380,4 cps/mCi untuk digunakan dalam kuantifikasi pencitraan planar seluruh tubuh dalam pembuatan protokol dosimeter internal.

DAFTAR PUSTAKA

1. RAMLI, M., HIDAYAT, B., ARDIYATNO, C. N., AGUSWARINI, S., RUSTENDI, C. T., SUBUR, M., RITAWIDYA, R. (2011). "Preclinical study of ^{177}Lu -DOTA-trastuzumab, a potential radiopharmaceutical for therapy of breast cancer positive HER-2", 19413.
2. DASH, A., PILLAI, M. R. A., & KNAPP, F. F. (2015), "Production of ^{177}Lu for Targeted Radionuclide Therapy: Available Options", *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 49(2), 85–107.
3. PRATITI MAHARDIKA FITRI. RATRI OKTAVIA. MUJINAH (2010), "Perhitungan pembuatan lutesium-177 untuk partikel nano radioaktif menggunakan reaktor G.A Siwabessy, Vol 13 No 1, 16-22
4. RASANEH, S., RAJABI, H., & HOSSEIN, M. (2009), "Radiolabeling of trastuzumab with ^{177}Lu via DOTA, a new radiopharmaceutical for radioimmunotherapy of breast cancer", *Nuclear Medicine and Biology*, 36(4), 363–369.
5. STEFANO SEVERI, ET AL (2014), "Retreatment with low dose ^{177}Lu -dotatate (Lu-PRRT), in patients with GEP NENs: A prospective feasibility and activity evaluation", *J Nucl. Med. Vol. 55 No. Supplement 1* 391
6. YUAN J (2013), "Efficacy and safety of ^{177}Lu -EDTMP in bone metastatic pain palliation in breast cancer and hormone refractory prostate cancer: a phase II study", *Clin. Nucl. Med.* 2013 Feb;38(2):88-92
7. B.R KAM, EUR J (2012), "Lutetium-labelled peptides for therapy of neuroendocrine tumours", *Nucl Med Mol Imaging.* 2012 Feb; 39(Suppl 1): 103–112.
8. RAHBAR K, ET AL (2016), "Radioligand Therapy With ^{177}Lu -PSMA-617 as A Novel Therapeutic Option in Patients With Metastatic Castration Resistant Prostate Cancer", *Clin Nucl Med.* 2016 Jul;41(7):522-8
9. RANJBAR, H., BAHRAMI-SAMANI, A., YAZDANI, M. R., & GHANNADI-MARAGHEH, M. (2016), "Determination of human absorbed dose of cocktail of $^{153}\text{Sm}/^{177}\text{Lu}$ -EDTMP, based on biodistribution data in rats". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 307(2), 1439–1444.
10. GLATTING, G., BARDIÈS, M., & LASSMANN, M. (2013), "Treatment planning in molecular radiotherapy". *Zeitschrift für Medizinische Physik*, 23(4), 262–269.
11. SIEGEL, J. A, ET AL, HOMAS, S. R., STUBBS, J. B., STABIN, M. G., HAYS, M. T., KORAL, K. F., BRILL, A B. (1999). "MIRD pamphlet No. 16: Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates". *Journal of Nuclear Medicine: Official Publication, Society of Nuclear Medicine*, 40(2), 37S–61S.
12. LYRA, M., LAGOPATI, N., CHARALAMBATOU, P., & VAMVAKAS, I. (2011). "PATIENT-SPECIFIC DOSIMETRY IN RADIONUCLIDE THERAPY", 147(1), 258–263.
13. FLUX, G., LASSMANN, M., MONSIEURS, M., & BARDIE, M. (2006). "Quantitative imaging for clinical dosimetry", 569, 467–471
14. SCHUCHARDT, C., KULKARNI, H., ZACHERT, C., & BAUM, R. P. (2013). "Dosimetry in Targeted Radionuclide Therapy

-
- : The Bad Berka Dose Protocol — Practical Experience”, 47(March), 65–73
15. **STABIN, M., & XU, X. G. (2014)**. “Basic principles in the radiation dosimetry of nuclear medicine”. *Seminars in Nuclear Medicine*, 44(3), 162–71.
16. **PRASETYA WIDODO DAN NUR RAHMAH HIDAYATI**, “Analisis Koefisien Attenuasi ^{99m}Tc dan Faktor Klaibrasi Kamera Gamma untuk Kuantifikasi Pencitraan Planar Menggunakan Kamera Gamma AnyScan Mediso”, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir VIII, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi- BATAN, Jakarta 13 Nopember 2013*, halaman 51-56.
17. **BUSHBERG J.T, (2002)**. “The Essential Physics of Medical Imaging”, Lipincott Williams and Wilkins, Philadelphia.
18. **SHIRAKAWA, S., TADOKORO, M., HASHIMOTO, H. et al. (2015)**, *Radiol Phys Technol*, 8: 36
19. **BORCIA, C., AND D. MIHAILESCU (2008)**, "Are water equivalent materials used in electron beams dosimetry really water equivalent." *Rom J Phys* 53.7-8 (2008): 851-63.
20. **PETERSON, T.E DAN FURENLID LARS R**, “Topical review SPECT detectors: the Anger Camera and beyond”, *IOP Publishing Physics in Medicine and Biology Phys. Med. Biol.* 56 (2011) R145–R182.