

RADIOISOTOP TEKNESIUM-99m DAN KEGUNAANNYA

Rohadi Awaludin

- Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN
Kawasan Puspiptek Gedung 11, Serpong, Tangerang Selatan 15314

PENDAHULUAN

Sampai dengan tahun 1936, kotak nomor atom 43 di dalam tabel periodik unsur masih kosong. Di tengah gencarnya upaya penemuan unsur-unsur yang ada di alam, masih ada satu tempat yang kosong di antara molibdenum (nomor atom 42) dan rutenium (nomor atom 44). Para peneliti ketika itu terus bertanya-tanya, unsur seperti apa gerangan yang akan menempati tempat tersebut.

Pertanyaan tersebut terjawab setelah pada tahun 1936 di University of Palermo (Italia) berhasil dibuat isotop buatan dengan nomor atom 37 oleh Carlo Perrier and Emilio Segre. Ketika itu mereka tanpa sengaja menghasilkan isotop dengan nomor massa 97 dari foil molibdenum dalam deflektor siklotron. Radioisotop tersebut selanjutnya diberi nama teknesium yang berasal dari bahasa Yunani yang berarti buatan. Setelah itu isotop lain dari teknesium mulai berhasil dibuat. Akhirnya diketahui bahwa unsur dengan nomor atom 37 tidak ada di alam, namun merupakan unsur buatan. Sebuah fakta yang tidak terbayangkan sebelumnya bahwa ada unsur dengan nomor atom relatif rendah namun tidak ada di alam. Para peneliti pun mencurahkan banyak perhatiannya pada unsur yang unik ini.

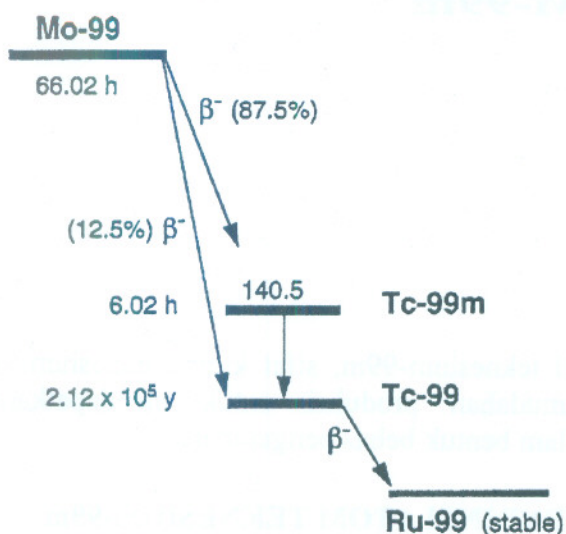
Pada tahun 1947 berhasil diperoleh teknesium-99m ($Tc-99m$) yang merupakan radioisotop metastabil dari teknesium. Radioisotop ini saat ini merupakan ujung tombak diagnosis menggunakan radioisotop. Sekitar 80% diagnosis di kedokteran nuklir menggunakan radioisotop ini. Puluhan juta pasien didiagnosis menggunakan radioisotop ini setiap tahunnya di seluruh dunia. Pilihan ini didasarkan pada sifat

inti teknesium-99m, sifat kimia teknesium serta kemudahan produksi untuk mendapatkannya dalam bentuk bebas pengemban.

SIFAT INTI ATOM TEKNESIUM-99m

Radioisotop teknesium-99m merupakan radioisotop dengan waktu paruh yang pendek yaitu 6 jam. Radioisotop ini merupakan radioisotop metastabil, meluruh melalui *isomeric transition* (IT) menjadi radioisotop $Tc-99$ yang memiliki waktu paruh sangat panjang yaitu 212 ribu tahun. Teknesium-99 tersebut selanjutnya meluruh melalui peluruhan beta menjadi isotop stabil rutenium-99 ($Ru-99$). Proses peluruhan radioisotop dari radioisotop $Mo-99$ menjadi $Tc-99m$, $Tc-99$ dan akhirnya menjadi $Ru-99$ ditunjukkan pada Gambar 1. Teknesium-99m hanya memancarkan radiasi gamma, tidak memancarkan radiasi lainnya. Radiasi gamma yang dipancarkan memiliki energi 140,5 keV.

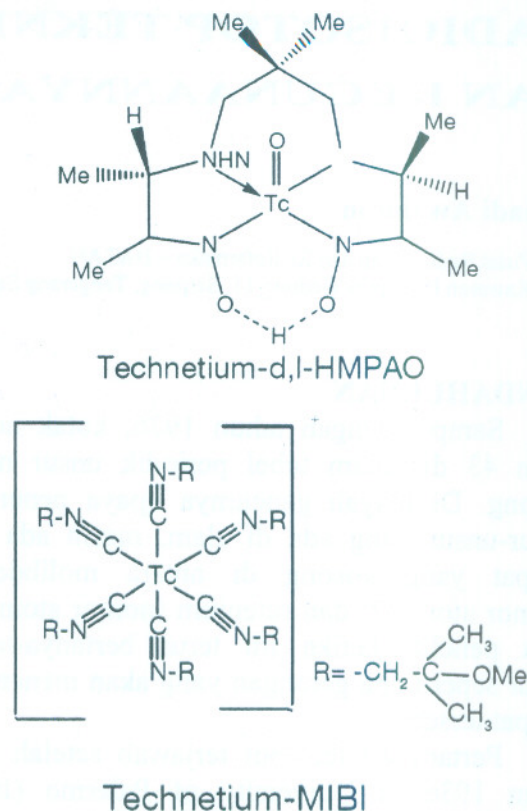
Untuk tujuan diagnosis, radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop diharapkan segera habis setelah proses diagnosis selesai sehingga dampak yang mungkin terjadi dapat diminimalisasi. Oleh sebab itu, sebagai pemancar gamma murni 140,5 keV dengan waktu paruh pendek 6 jam, $Tc-99m$ dinilai tepat sebagai radioisotop diagnosis. Radiasi gamma dengan energi yang relatif rendah ini tidak memberikan dampak yang besar kepada tubuh, namun cukup besar untuk menembus jaringan dan dapat ditangkap dengan mudah oleh detektor radiasi dari luar tubuh. Oleh sebab itu, sebaran radioisotop ini di dalam tubuh dapat diamati dengan mudah.



Gambar 1. Peluruhan radioisotop dari Mo-99 menjadi Tc-99m, Tc-99 dan akhirnya menjadi isotop stabil Ru-99.

SIFAT KIMIA TEKNESIUM

Di dalam tabel periodik unsur, teknesium berada di nomor atom 43, termasuk di dalam kelompok logam transisi. Unsur ini memiliki konfigurasi elektron [Kr]4d⁵5s². Di dalam konfigurasi elektron tersebut, [Kr] menunjukkan konfigurasi elektron dari gas mulia krypton. Teknesium memiliki beberapa *oxidation state* dari +1 sampai dengan +7. *Oxidation state* ini merupakan parameter penting dalam menentukan senyawa-senyawa kompleks yang dapat dibentuk. Senyawa-senyawa kompleks teknesium memiliki bilangan koordinasi (N) yang beragam dari 4 sampai dengan 7. Struktur senyawa kompleksnya pun sangat beragam, dapat berupa *tetrahedral* (N=4), *tetragonal pyramidal* (N=5), *octahedral* (N=6), *capped octahedral* (N=7) atau *pentagonal bipyramidal* (N=7). Teknesium sangat kaya dengan berbagai variasi dan kemungkinan dalam membentuk senyawa kompleks. Oleh sebab itu, berbagai jenis ligan dengan bioaktif tertentu telah berhasil diikatkan dengan teknesium. Senyawa kompleks teknesium juga memiliki muatan yang bervariasi yaitu bermuatan +1, netral dan bermuatan -1. Dua diantaranya adalah teknesium-HMPAO dan teknesium-MIBI yang strukturnya disajikan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Struktur teknesium-HMPAO dan teknesium-MIBI

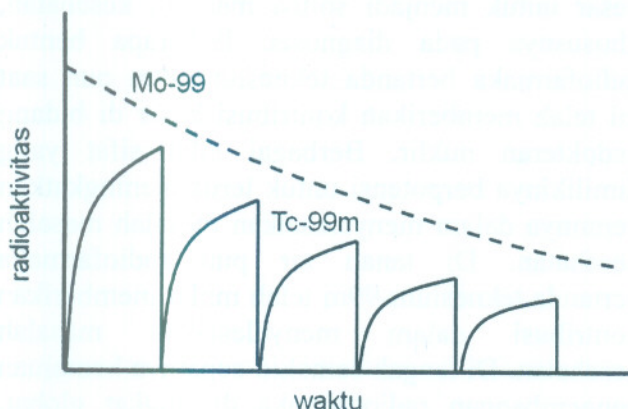
PROSES PEMBUATAN

Radioisotop Tc-99m merupakan anak luruh dari radioisotop Mo-99 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Radioisotop Mo-99 memiliki waktu paruh 66 jam, jauh lebih panjang dari waktu paruh Tc-99m. Radioisotop Tc-99m dapat diperoleh dengan memisahkannya dari radioisotop induk Mo-99. Teknesium-99m terus terbentuk dari Mo-99, sehingga setelah dipisahkan, radioisotop Tc-99m yang baru akan terakumulasi kembali. Setelah radioaktivitas Tc-99m dinilai cukup, Tc-99m dapat dipisahkan kembali dari Mo-99. Proses ini dapat dilakukan berulang ulang. Perubahan radioaktivitas Mo-99 dan Tc-99m setelah pemisahan Tc-99m secara berulang ditunjukkan dalam Gambar 3. Radioaktivitas Tc-99m menjadi nol pada saat dipisahkan dari Mo-99. Setelah itu, Tc-99 kembali tumbuh dan dapat dipisahkan kembali setelah radioaktivitasnya mendekati radioaktivitas Mo-99. Dengan proses ini Tc-99m dapat

Tabel 1. Beberapa contoh senyawa kompleks teknesium

Bilangan koordinasi	Oxidation state	Muatan	Senyawa	Organ/jaringan
4	+7	-1	<i>pertechnetate</i>	tiroid
5	+5	-1	<i>mercaptoacetyltriglycine (MAG3)</i> <i>ethylenedicysteine (EC)</i>	ginjal ginjal
5	+5	0	<i>hexamethylpropyleneamine oxime (HMPAO)</i> <i>ethylcysteinate dimer (ECD)</i>	otak otak
6	+1	+1	<i>methoxyisobutylisonitrile (MIBI)</i>	jantung
	+5	+1	<i>tetrofosmin</i>	jantung
	+3	-1	<i>dimercaptosuccinic acid (DMSA)</i>	ginjal
7	+5	-1	<i>diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA)</i>	ginjal

diperoleh dalam bentuk bebas pengemban sehingga memiliki radioaktivitas jenis yang sangat tinggi karena hampir tidak ada isotop Tc lain selain Tc-99m.



Gambar 3. radioaktivitas Mo-99 dan Tc-99m di dalam generator radioisotop.

Proses pemisahan Tc-99m dari Mo-99 dapat dilakukan menggunakan beberapa cara, diantaranya menggunakan kolom kromatografi dan ekstraksi pelarut. Pada Mo-99 hasil fisi, pemisahan dengan kolom kromatografi dapat dilakukan menggunakan kolom alumina. Kolom alumina mengandung Mo-99 dapat diletakkan di dalam sebuah sistem generator sehingga Tc-99m dapat diperoleh dengan cara yang mudah, cukup mengalirkan pelarut salin untuk mengeluarkan Tc-99m dari dalam kolom, sedang radioisotop induk Mo-99 tetap tertahan di dalam kolom alumina. Sedang untuk Mo-99 hasil aktivasi

netron, penyerap dengan kapasitas yang tinggi diperlukan sebagai pengganti peran alumina karena alumina memiliki kapasitas serap yang kecil terhadap Mo.

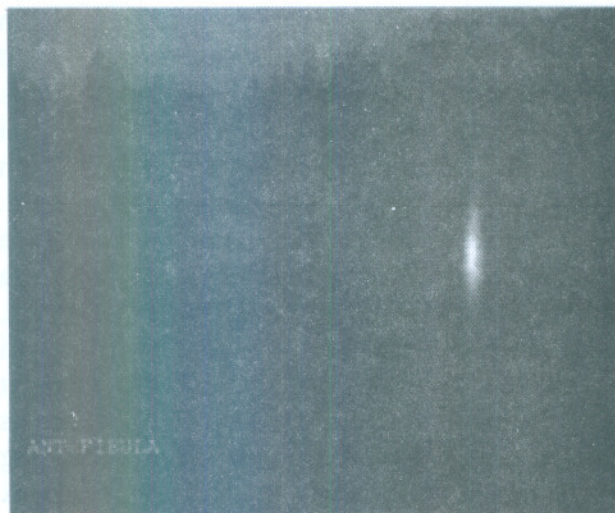
Pada pemisahan dengan ekstraksi pelarut, metil etil keton (MEK) dapat digunakan sebagai pelarut organik untuk mengambil Tc-99m dari larutan Mo-99 pada fasa air. Hanya saja, dengan cara ini, Tc-99m masih berada di dalam pelarut MEK sehingga perlu proses lebih lanjut untuk melarutkannya ke dalam larutan salin. Proses ini dapat dilakukan dengan menguapkan MEK dan melarutkan kembali Tc-99m menggunakan salin. Namun, dengan proses ini biasanya masih ada sebagian kecil MEK yang tertinggal sehingga ketika Tc-99m dilarutkan ke dalam larutan salin, masih ada sebagian kecil MEK terkandung di dalamnya. Meskipun kandungan MEK sangat kecil, larutan Tc-99m tersebut terbatas penggunaannya karena dikhawatirkan MEK yang terkandung di dalamnya memberikan dampak pada saat digunakan.

KEGUNAAN

Saat ini, radioisotop Tc-99m telah digunakan secara luas dan terus dikembangkan dalam berbagai bentuk baru dalam diagnosis. Berbagai prosedur penggunaan radiofarmaka bertanda Tc-99m telah digunakan secara rutin di berbagai negara. Diantaranya, saat ini, radioisotop Tc-99m telah digunakan secara rutin

dalam *bone scan*, *myocardial perfusion imaging* serta *functional brain imaging*.

Bone scan menggunakan Tc-99m berbeda dengan *bone density scan* yang digunakan untuk melakukan diagnosis terjadinya osteoporosis. *Bone scan* menggunakan Tc-99m dimaksudkan untuk mengetahui adanya *re-building activity* secara tidak normal di dalam tulang. Untuk *bone scan* ini digunakan senyawa ^{99m}Tc -MDP (*methylene diphosphonate*). Radiofarmaka ini akan terakumulasi di dalam *osteoblast cells*, yaitu sel sel pembentuk tulang. Terjadinya pertumbuhan secara tidak normal pada tulang dapat terjadi karena adanya jaringan kanker atau adanya retakan. Radiofarmaka ^{99m}Tc MDP sebanyak 20-30 mCi diinjeksikan dan selanjutnya diperiksa menggunakan kamera gamma. Pertumbuhan sel secara tidak normal akan terlihat dari metode ini. Contoh hasil pemeriksaan dengan kamera gamma ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *bone scan* pada tulang betis menunjukkan adanya aktivitas abnormal pada salah satu tulang.

Myocardial perfusion imaging adalah salah satu bentuk *cardiac imaging* untuk diagnosis adanya penyakit jantung. Untuk kebutuhan ini telah dikembangkan beberapa radiofarmaka diantaranya adalah ^{99m}Tc -tetrafosmin yang dikenal dengan nama *Myoview* dan ^{99m}Tc -sestamibi yang dikenal dengan nama *Cardiolite*.

Dalam kondisi terpacu, *myocardium* yang sedang sakit dapat dibedakan dengan *myocardium* normal dari hasil pencitraan menggunakan kamera gamma menggunakan radiofarmaka tersebut

Functional brain imaging dapat dilakukan pula menggunakan Tc-99m. Radiofarmaka yang telah dikembangkan untuk tujuan ini adalah ^{99m}Tc -HMPAO (*hexamethylpropylene amine oxime*). Selain HMPAO, perunut ^{99m}Tc -ECD (*ethylcysteinate dimer*) dapat pula digunakan pula untuk tujuan ini. Molekul-molekul ini akan terdistribusi kepada wilayah wilayah otak dengan aliran darah yang tinggi dan dapat digunakan untuk mengkaji kondisi metabolisme bagian bagian otak.

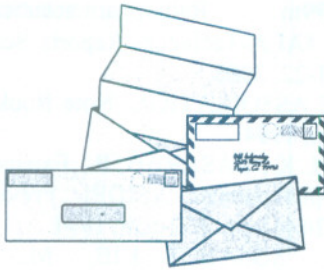
PENUTUP

Radioisotop Tc-99m memiliki potensi yang besar untuk menjadi solusi masalah kesehatan, khususnya pada diagnosis. Beberapa bentuk radiofarmaka bertanda teknesium-99m pun saat ini telah memberikan kontribusi besar di bidang kedokteran nuklir. Berbagai sifat sifat yang dimilikinya berpotensi untuk terus meningkatkan perannya dalam menyelesaikan masalah masalah kesehatan. Di tanah air pun radiofarmaka bertanda teknesium-99m telah mulai memberikan kontribusi dalam menyelesaikan masalah kesehatan. Di tengah semakin cepatnya kemajuan pengembangan radiofarmaka di tingkat global, penggunaan radiofarmaka di tanah air pun diprediksi akan semakin luas, khususnya radiofarmaka bertanda teknesium-99m.

DAFTAR PUSTAKA

AWALUDIN, R., SRIYONO dan HERLINA, Sintesis dan Karakterisasi Penyerap Molibdenum Berkapasitas Tinggi Untuk Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, 13, pp. 23-32, 2010.
 BACOVSKY, J., and MYSLIVECEK, M., Multiple Myeloma: Scintigraphy Using Technetium-99m-2-Methoxyisobutylisonitrile, Cancer Imaging, 12, pp. 499-504, 2008.
 CHATTOPADHYAY, S., DAS, S.S. and BARUA L, A Simple and Rapid Technique for Recovery of ^{99m}Tc from Low Specific Activity (n, γ) ^{99}Mo Based on Solid-Liquid Extraction and Column Chromatography

- Methodologies, Nuclear Medicine and Biology, 37, pp. 17-20, 2010.
- CHEN, X., GUO, Y, ZHANG Q., Preparation and Biological Evaluation of ^{99m}Tc -MIBI as Myocardial Perfusion Imaging Agent, Journal of Organometallic Chemistry, Volume 69 (10), pp. 1822-1828, 2008.
- DEGIRMENCI, B., MIRAL, S., ARSLAN, G., BAYKARA, A., EVREN, I. and DURAK, H., Technetium-99m HMPAO Brain SPECT in Autistic Children and Their Families, Neuroimaging, 162, pp. 236-43, 2008.
- IAEA, Manual for Reactor Produced Radioisotope, IAEA-Technical Reports Series No. 1340, Vienna, pp. 135-40, 2003.
- IAEA, Technetium-99m Radiopharmaceuticals: Manufacture of Kits, IAEA-Technical Reports Series No. 466, Vienna, pp. 1-22, 2008.
- JAPAN RADIOISOTOPE ASSOCIATION, Note Book of Radioisotope, Maruzen, 1994.
- POLLEN, J.J., WITZTUM, K., BASARAB, R., Expanded ^{99m}Tc -Methylene Diphosphonate (MDP) Previous Bone Scan, Urology, 24 (6), pp. 632-638, 1994.
- SEETHARAMANA, S, SOSABOWSKIB, M, R. BALLINGER, J., Validation of Alternative Methods of Preparing ^{99m}Tc -MAG3, Applied Radiation and Isotopes, 65 (11), pp. 1240-1243, 2007.



KONTAK PEMERHATI

Sesuai dengan tujuan diterbitkannya Buletin ALARA ini, yaitu sebagai salah satu sarana *informasi, komunikasi dan diskusi* di antara para peneliti dan pemerhati masalah keselamatan radiasi dan lingkungan di Indonesia, maka mulai edisi berikut akan dimuat "Paket Kontak Pemerhati". Para pembaca dapat menanyakan tentang permasalahan yang telah dikemukakan pada buletin ini atau memberikan saran/komentar serta tanggapan/kritikan yang sifatnya membangun.

Surat dapat dikirimkan melalui POS ke Tim Redaksi Buletin ALARA atau melalui e-mail : ptkmr@batan.go.id dan alara_batan@yahoo.com atau Fax. (021) 7657950
Jawaban serta Surat/ tanggapan akan dimuat pada edisi berikutnya.

Tim Redaksi

Redaksi Yth,

Pertama-tama kami ingin mengungkapkan rasa senang yang tak terhingga atas kehadiran Buletin Alara yang selalu menyajikan informasi tentang keselamatan radiasi yang kami butuhkan. Sebagai pekerja radiasi, kami sangat membutuhkan informasi yang berkaitan dengan dosimeter. Selama ini kami hanya mengetahui *Film Badge* dan *TLD Badge*. Apakah ada jenis dosimeter lain yang digunakan untuk pemantauan dosis radiasi perorangan? Apa perbedaannya dengan dosimeter film dan TLD?

Atas informasi dan kerjasamanya kami mengucapkan terimakasih.

AM Hendarto – Malang

Bapak Hendarto yang kami hormati,

Terimakasih atas ungkapan rasa senangnya pada B.Alara ini. Kami akan selalu berusaha untuk dapat memberikan yang terbaik buat para pemerhati keselamatan radiasi.

B.Alara pernah menerbitkan artikel tentang *Film dan TLD Badge* (dapat dilihat dalam: <http://www.batan.go.id/ptkmr/>). Selain ke dua jenis dosimeter ini, ada lagi jenis lainnya berdasarkan stimulasi yang diberikan pada proses pembacaan responnya. Ada jenis; 1).

Optically stimulated luminescence dosimeter (OSL dosimeter) yaitu dosimeter yang dalam proses pembacaannya menggunakan laser hijau/biru. 2) Radiophotoluminescence glass dosimeter (RPLGD) yaitu dosimeter yang memerlukan sinar UV dalam proses pembacaannya.

*Film Badge hanya bisa digunakan untuk 1 kali pemakaian, namun informasi dosis masih bisa dibaca ulang jika diperlukan. TLD dapat dipakai berulang-ulang, namun informasi dosis akan hilang setelah proses pembacaan. Setiap TLD menerima stimulasi panas, akan terjadi efek *thermal quenching* yang dapat menyebabkan sensitivitas dan efisiensinya berkurang. Sedang OSLD dan RPLGD merupakan dosimeter luminisensi yang lebih stabil, dan relatif lebih sensitif dibandingkan dosimeter film dan TLD. Informasi lebih lanjut terkait OSLD dapat dilihat dalam website PTKMR. Dan untuk RPLGD, merupakan dosimeter yang telah digunakan di Jepang dan beberapa negara di Eropa dalam pelayanan pemantauan dosis radiasi perorangan. Pada edisi ini kami coba tampilkan tentang RPLGD.*

Mudah-mudahan informasi ini dapat bermanfaat. Dan terimakasih atas perhatiannya.

redaksi