

Aplikasi Teknik Nuklir untuk Kesehatan Manusia

Dr. Rochestri Sofyan

Pusat Pengkajian Teknologi Nuklir, BA TAN, Jakarta

PENDAHULUAN

Aplikasi teknik nuklir, baik aplikasi radiasi maupun radioisotop, sangat dirasakan manfaatnya sejak program penggunaan tenaga atom untuk maksud damai dilancarkan pada tahun 1953. Dewasa ini penggunaannya di bidang kedokteran sangat luas, sejalan dengan pesatnya perkembangan bioteknologi, serta didukung pula oleh perkembangan instrumentasi nuklir dan produksi radioisotop umur pendek yang lebih menguntungkan ditinjau dari segi medik.

Energi radiasi yang dipancarkan oleh suatu sumber radiasi, dapat menyebabkan perubahan fisis, kimia dan biologi pada materi yang dilaluinya. Perubahan yang terjadi dapat dikendalikan dengan jalan memilih jenis radiasi (α , β , γ atau neutron) serta mengatur dosis terserap, sesuai dengan efek yang ingin dicapai. Berdasarkan sifat tersebut, radiasi dapat digunakan untuk penyinaran langsung seperti antara lain pada radioterapi, dan sterilisasi. Selain itu, radiasi yang dipancarkan oleh suatu radioisotop, lokasi dan distribusinya dapat dideteksi dari luar tubuh secara tepat, serta aktivitasnya dapat diukur secara akurat; sehingga penggunaan radioisotop sebagai *tracer* atau perunut, sangat bermanfaat dalam studi metabolisme, serta teknik pelacakan dan penatahan berbagai organ tubuh, tanpa harus melakukan pembedahan.

KEDOKTERAN NUKLIR

Dalam bidang kedokteran dikenal cabang kedokteran nuklir, yaitu ilmu kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan radioaktif terbuka (*unsealed*), baik untuk diagnosis maupun dalam pengobatan penyakit atau dalam penelitian kedokteran. Dalam kedokteran nuklir, diagnosis dan terapi dilaksanakan berdasarkan padapemanfaatan emisi radioaktif dari radionuklida tertentu. Akhir-akhir ini kedokteran nuklir berkembang pesat

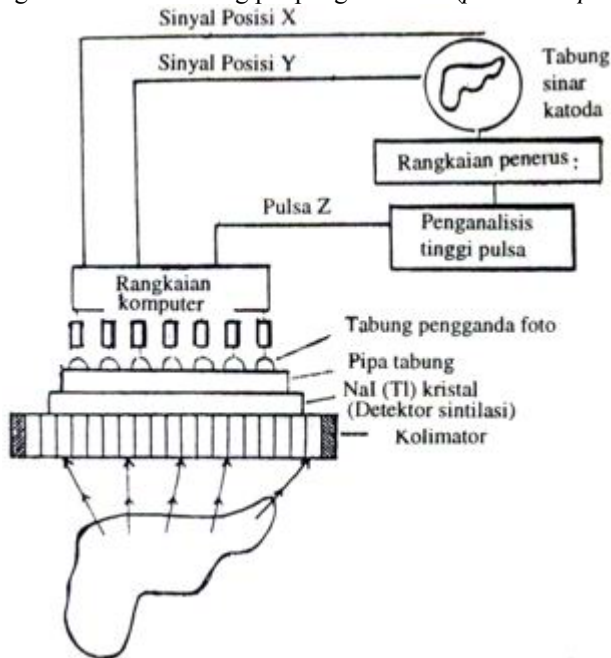
dan sangat dirasakan manfaatnya oleh masyarakat. Tercatat bahwa hampir tidak ada satupun rumah sakit di negara-negara maju yang tidak mempunyai unit kedokteran nuklir. Negara sedang berkembang seperti Indonesia juga tidak ketinggalan. Dewasa ini, hampir semua kota besar di Pulau Jawa mempunyai sedikitnya satu rumah sakit yang dilengkapi dengan unit kedokteran nuklir.

Seorang ahli kimia berkebangsaan Hongaria, George Hevesy, pada tahun 1923 mengukur distribusi timbal (Pb) radioaktif dengan jalan memasukkan Pb-210 dan Pb-212 pada batang dan akar kacang dalam jumlah yang tidak menimbulkan efek toksik pada tanaman. Pada tahun 1924, dipelajari distribusi Pb dan Bismut (Bi) pada hewan percobaan. Ini merupakan langkah pertama penggunaan perunut untuk penelitian biomedik, sehingga pada tahun 1943 George Hevesy mendapat hadiah Nobel di bidang Kimia. Radionuklida pertama yang digunakan secara luas dalam kedokteran nuklir adalah I-131, yang ditemukan oleh Glenn Seaborg pada tahun 1937. Pertama kali I-131 digunakan sebagai indikator fungsi kelenjar tiroid dengan jalan mendeteksi sinar γ yang diemisikan, dengan pencacah Geiger yang ditempatkan di dekat kelenjar tiroid. Diikuti dengan pemakaiannya untuk pengobatan hipertiroid pada tahun 1940. Penemuan Seaborg berikutnya yaitu radionuklida Tc-99m dan Co-60, yang merupakan tonggak sejarah di bidang Kedokteran Nuklir. Berkat jasanya tersebut, Seaborg mendapat hadiah Nobel untuk bidang Kimia pada tahun 1951. Pada periode berikutnya, kedokteran nuklir berkembang pesat setelah ditemukan kamera gamma oleh Hal Anger pada tahun 1958. Alat tersebut mampu mendeteksi distribusi foton yang dipancarkan dari dalam tubuh, yang dapat menggambarkan fungsi suatu organ. Metode ini disebut *imaging* nuklir, yang digunakan untuk diagnosis *in vivo*.

Pada *imaging* nuklir, suatu senyawa organik bertanda

(radiofarmaka) pemancar sinar gamma/positron yang telah diketahui metabolismenya secara spesifik pada organ tubuh yang diselidiki, dimasukkan ke dalam tubuh pasien melalui penyuntikan, oral atau pernafasan. Radiofarmaka bergabung dengan proses metabolisme dalam tubuh, akhirnya terkumpul dan terdistribusi pada tempat-tempat tertentu. Kemudian suatu detektor radiasi didekatkan pada tubuh pasien, untuk menetapkan tempat di dalam tubuh asal sinar itu dipancarkan, sehingga pola distribusinya pada tempat tersebut serta perpindahannya dari satu tempat ke tempat lain dapat diketahui secara tepat. Keuntungan imaging nuklir adalah tracer dapat bertindak sebagai pemeriksa fisiologi fungsional yang sanggup menggambarkan fungsi biokimiawi, karena adanya transpor biologi aktif dari radiofarmaka melalui organ tubuh dapat divisualisasi terhadap waktu. Gambar yang diperoleh merupakan gambar secara fungsional dalam *framework* anatomi. Bila berfungsi normal, distribusi radiofarmaka menunjukkan pola tertentu yang karakteristik, sedang pada bagian yang mempunyai fungsi patologis distribusinya tidak normal. Berbeda dengan foto sinar-X pada radiografi. Jaringan merupakan objek pasif, sehingga yang divisualisasikan hanya berupa seleksi dari sinar-X yang melewati jaringan. Gambar yang diperoleh tidak menggambarkan fungsi dari suatu organ. Jadi akan sama saja apakah organ itu masih hidup atau sudah mati.

Aktivitas radioisotop yang digunakan pada *imaging* nuklir sangat kecil dalam orde beberapa mCi, dan mempunyai sifat kimia yang sama dengan isotopnya yang tidak aktif, sehingga secara faal tidak berpengaruh terhadap keadaan normal. Alat yang digunakan adalah Kamera Gamma (**Gambar 1**) yang dilengkapi dengan detektor sintilasi (kristal NaI atau Tl), untuk mengubah foton sinar gamma menjadi kilatan cahaya yang dilipatgandakan oleh tabung pelipat ganda foto (*photomultiplier*).



Gambar 1

Selanjutnya sintilasi diubah menjadi pulsa elektronik dan terakhir menjadi pulsa-pulsa tegangan yang tingginya sebanding dengan energi foton terpancar dari dalam tubuh. Dengan bantuan komputer, pulsa direkam dan diolah, kemudian ditampilkan pada layar. Pada pertengahan tahun 1970, instrumen semacam ini dikembangkan lagi dengan teknik tiga dimensi. Dengan mengubah konfigurasi detektor serta meningkatkan daya komputasi secara elektronik, dapat dibuat gambar tiga dimensi dan distribusi radionuklida dalam tubuh. Teknik ini dikenal dengan teknik *computed tomography*. Karena isotop yang digunakan merupakan pemancar gamma tunggal, kemudian diberi nama *single photon computed tomography* lazim dsingkatkan SPECT. Alat Kamera Gamma SPECT telah dimiliki oleh beberapa rumah sakit di Indonesia.

Untuk diagnosis *in vivo* salah satu radionuklida yang banyak digunakan adalah Tc-99m. Penggunaannya berkembang pesat sejak tahun 1961, karena ditunjang oleh beberapa kelebihan sifat inti radionuklida tersebut yakni : pemancar gamma murni dan tunggal, energinya memadai untuk deteksi (140 keV) dan umur paruhnya pendek, yaitu 6 jam. Beberapa contoh penggunaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Tc-99m sulfur koloid, untuk pemeriksaan jantung, hati dan limpa.
- 2) Tc-99m diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA), untuk pemeriksaan otak.
- 3) Tc-99m sodium tripoliphosphate (STPP), untuk penataan tulang.

Radionuklida I-123 juga banyak dipilih untuk *imaging*. Merupakan pemancar gamma dengan umur paruh 13 jam, sehingga sangat cocok untuk studi dalam waktu yang tidak terlalu pendek. Imaging dengan kamera gamma cukup jelas karena energi gamma yang dipancarkan optimal yaitu 159 keV. Keuntungan lain ialah mudah berikatan dengan antibodi, sehingga sangat baik untuk menanda antibodi pada pelacakan kanker.

Selain radioisotop pemancar gamma, radioisotop pemancar positron juga mulai dikenal pemakaiannya. Untuk *imaging* digunakan alat *positron emission tomography* (PET). Dalam diagnosis, banyak digunakan gas radioaktif pemancar positron umur pendek, yaitu antara lain untuk mengamati berbagai penyakit dan kelainan pada pernafasan, serta sistem sirkulasi cairan tubuh. Gas radioaktif tersebut O-15, C-11 dan N-13 yang dihasilkan dari siklotron dengan umur paruh masing-masing 2, 20 dan 10 menit. Sebagai contoh, C¹⁵O₂ dan ¹¹CO atau C¹⁵O digunakan untuk mempelajari fungsi paru. Hal lain yang dapat dipelajari adalah gambaran metabolisme serta konsumsi oksigen dalam otak dan jantung.

Perkembangan dalam kedokteran nuklir ditunjang pula oleh penemuan di bidang bioteknologi antara lain ditemukannya teknologi hibridoma untuk memproduksi berbagai jenis antibodi klon tunggal atau monoclonal antibody (MAb), terutama untuk diagnosis dan terapi penyakit kanker. Dalam penggunaannya di bidang kedokteran nuklir, terutama untuk diagnosis dan terapi, antibodi klon tunggal harus ditanda dengan isotop radioaktif. Prinsip penggunaan teknik ini cukup sederhana. MAb terhadap tumor ganas tertentu yang bertanda radioaktif pemancar sinar

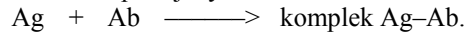
gamma (misalnya ^{123}I), bila disuntikkan ke dalam tubuh pasien yang diduga menderita tumor tersebut, akan terbawa oleh aliran darah dan akhirnya terakumulasi pada jaringan tumor. Dalam hal ini, antibodi anti tumor berikatan secara spesifik dengan jaringan tumor yang berfungsi sebagai antigen. Oleh karena antibodi yang digunakan monospesifik, maka antibodi yang disuntikkan hanya akan terakumulasi pada jaringan tumor, tidak terjadi penyebaran keradioaktifan pada jaringan lain. Dengan teknik *imaging* nuklir, lokasi tumor dengan metastasisnya dapat diamati secara jelas, tanpa harus melakukan biopsi atau cara lain. Jika yang dikaitkan dengan AbM tadi suatu pemancar sinar alfa yang jarak tempuhnya pendek dan dipilih yang mempunyai *linear energy transfer* (LET) yang tinggi, maka pengumpulan antibodi juga dibantu oleh penyembuhan lewat penyinaran (radioterapi). Teknik lain yang menggunakan MAB adalah *Boron Neutron Capture Therapy*. Pertama-tama pasien disuntik dengan konyugat boron-MAB setelah boron-MAB terlokalisasi dalam sel kanker, kemudian daerah tumor tersebut diiradiasi dengan neutron lambat yang berenergi sangat rendah (sekitar 0,025 eV). Reaksi nuklir $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$ di dalam sel tumor, dapat diatur sedemikian agar radiasi yang dihasilkan merupakan dosis terapi bagi sel tumor, tetapi paparan radiasi pada jaringan sel normal tetap sangat kecil.

Penggunaan radioisotop dalam kedokteran nuklir juga sangat bermanfaat dalam diagnosis yang dilakukan di luar tubuh atau diagnosis *in vitro*, setelah ditemukannya teknik *radioimmunoassay* (RIA) pada tahun 1977. Teknik RIA adalah suatu teknik penentuan berdasarkan reaksi imunologi yang menggunakan tracer radioaktif. Teknik ini merupakan perpaduan antara dua kemampuan metode penentuan. Pertama, penggunaan teknik nuklir. Pengukuran radioaktivitas memberikan kepekaan dan ketelitian yang tinggi, serta tidak terpengaruh oleh faktor-faktor lain yang terdapat dalam sistem. Kedua, berdasarkan reaksi imunologi yaitu terjadinya kompleks antara dua senyawa komplementer antigen dan antibodi, yang berlangsung secara sangat spesifik. Karena sifat kerja antiserum yang sangat spesifik tadi, maka adanya senyawa-senyawa lain dalam sistem reaksi dalam ribuan sampai jutaan kali sekalipun, tidak akan mempengaruhi reaksi. Mudah dipahami bila penggabungan antara pengukuran radioaktivitas dan kespesifikan reaksi imunologi menghasilkan penentuan yang sangat sensitif dan spesifik, sehingga sanggup mengukur senyawa tertentu dalam orde pikogram (10^{-12} gram) bahkan sampai orde pentogram (10^{-15} gram) untuk setiap 1 ml contoh.

Sebelum penentuan secara radioimunologi ditemukan, pengukuran senyawa bioaktif berkadar rendah dalam cairan tubuh, seperti hormon, vitamin, enzim, protein dan antigen, ditetapkan dengan metode biologi (*bioassay*) dan kimia. Baik pada penetapan dengan metode biologi maupun kimia, diperlukan contoh darah/serum atau cairan tubuh lain, dalam jumlah yang cukup banyak. Selain itu, diperlukan pemisahan dan pemurnian sebelum pengukuran, tetapi jenis senyawa yang dapat ditentukan tetap terbatas. Sering kali kelainan tidak terdiagnosis karena batas deteksi pengukuran yang tinggi. Hingga kini ketelitian penentuan *in vitro* secara radioimunologi, belum tertandingi oleh metode apapun, serta telah banyak membantu dalam diagnosis

secara dini berbagai penyakit yang disebabkan oleh kelainan hormonal, kanker, terkena racun dan infeksi.

Prinsip kerjanya sederhana adalah sebagai berikut:



Dalam reaksi ini, senyawa yang hendak ditentukan adalah antigen. Agar reaksi ini dapat dilacak, maka dimasukkan suatu senyawa penanda yang dapat diukur secara kuantitatif, yaitu radioisotop misalnya ^{125}I . Penandaan dapat diberikan pada antigennya, atau pada antibodinya. Antigen yang terdapat dalam cairan tubuh dapat ditentukan karena adanya reaksi kompetisi antara Ag/Ab dengan Ag/Ab bertanda untuk membentuk kompleks Ag-Ab, yaitu dengan jalan mengukur Ag/Ab bertanda yang tidak berikatan membentuk kompleks atau yang bebas dengan pencacah gamma.

TELETERAPI

Teleterapi adalah perlakuan radiasi dengan sumber radiasi tidak secara langsung berhubungan dengan tumor. Sumber radiasi pemancar gamma seperti Co-60 pemakaiannya cukup luas, karena tidak memerlukan pengamatan yang rumit dan hampir merupakan pemancar gamma yang ideal. Sumber ini banyak digunakan dalam pengobatan kanker/tumor, dengan jalan penyinaran tumor secara langsung dengan dosis yang dapat mematikan sel tumor, yang disebut dosis letal. Kerusakan terjadi karena proses eksitasi dan ionisasi atom atau molekul.

Pada teleterapi, penetapan dosis radiasi sangat penting, dapat berarti antara hidup dan mati. Masalah dosimetri ini ditangani secara sangat ketat di bawah pengawasan Badan Internasional WHO dan IAEA bekerjasama dengan laboratorium-laboratorium standar nasional.

STERILISASI ALAT KEDOKTERAN

Alat/bahan yang digunakan di bidang kedokteran pada umumnya harus steril. Banyak di antaranya yang tidak tahan terhadap panas, sehingga tidak bisa disterilkan dengan uap air panas atau dipanaskan. Demikian pula sterilisasi dengan gas etilen oksida atau bahan kimia lain dapat menimbulkan residu yang membahayakan kesehatan. Satu-satunya jalan adalah sterilisasi dengan radiasi, dengan sinar gamma dan Co-60 yang dapat memberikan hasil yang memuaskan. Sterilisasi dengan cara tersebut sangat efektif, bersih dan praktis, serta biayanya sangat murah. Untuk transplantasi jaringan biologi seperti tulang dan urat, serta amnion chorion untuk luka bakar, juga disterilkan dengan radiasi.

PENUTUP

Dapat dikemukakan bahwa teknik nuklir sangat berperan dalam penanggulangan berbagai masalah kesehatan manusia. Banyak masalah yang sebelumnya dengan metode konvensional tidak terpecahkan, dengan teknik nuklir dapat terpecahkan. Yang terpenting adalah kemajuan-kemajuan baik di bidang diagnosis maupun terapi haruslah ditujukan untuk keselamatan, kemudahan, kesembuhan dan kenyamanan pasien. Dengan kemajuan iptek di bidang instrumentasi nuklir, bioteknologi dan produksi isotop umur pendek yang menguntungkan ditinjau dan segi

medik dan pendeteksian/pengukuran; diharapkan bahwa harapan hidup yang lebih nyaman dan panjang bagi mereka yang terkena penyakit dapat tercapai.

KEPUSTAKAAN

1. Ganatra R, Noval M. Promoting nuclear medicine in developing countries,

Bul IAEA 1986; 28(2): 5.

2. Yalow RS. Radioimmunoassay for the developing countries. In: Nuclear Medicine and Related Radionuclide Applications in Developing Countries. Proc. Symposium Vienna, 1985. Vienna: IAEA 1988; 12.
3. Keenan AM, Habari IC, Larson SM. Monoclonal antibody in nuclear medicine, J Nuci Med 1985; 26: 531.
4. Stubbs JB, Wilson LA. Nuclear medicine: a state-of-the-art review. Nuclear News, 1991; 34(7): 50.



Wayang-Orang Sriwedari, Solo
Kalau keluar adegan:
"Semar, Gareng, Petruk"
penonton aplus sambil
melempar bungkus rokok,
bahkan uang. Hujan lemparan rejeki!