

5. Diagnosis dengan Radioisotop

Untuk studi *in-vivo*, radioisotop direaksikan dengan bahan biologik seperti darah, urin, serta cairan lainnya yang diambil dari tubuh pasien. Sampel bahan biologik tersebut selanjutnya direaksikan dengan suatu senyawa bertanda yang bersifat radioaktif. Senyawa bertanda merupakan senyawa di mana satu atau lebih atom penyusunnya adalah atom radioaktif dari unsur yang sama tanpa mengubah struktur letak atom-atom dalam senyawa tersebut. Senyawa bertanda yang dipakai dalam kedokteran nuklir ini disebut radiofarmaka. Pada umumnya, radiofarmaka terdiri dari dua komponen, yaitu radioisotop dan senyawa pembawanya. Radioisotop memungkinkan suatu radiofarmaka dapat dideteksi dan diketahui lokasinya, sedang senyawa pembawa menentukan tempat akumulasi radiofarmaka tersebut.

Studi *in-vitro* dilakukan dengan teknik *radioimmunoassay* (RIA). Teknik RIA ditemukan pertama kali pada 1960 oleh Yalow dan Berson. Dari penemuan ini, mereka berhasil memenangkan hadiah Nobel bidang kedokteran. Teknik ini sangat peka serta spesifik dan biasanya digunakan untuk mengetahui kandungan zat biologik tertentu dalam tubuh yang jumlahnya sangat kecil. Misalnya, hormon insulin atau tiroksin, enzim, dan lain-lain. Prinsip pemeriksaan RIA adalah kompetisi antara antigen (bahan biologi yang diperiksa) dengan antigen radioaktif dalam memperebutkan antibodi yang jumlahnya sangat terbatas. Saat ini juga dikenal teknik lain yang serupa dengan RIA yang disebut *immunoradiometric assay* (IRMA). Dalam teknik ini yang ditandai dengan radioaktif bukan antigen, tetapi antibodinya.



Gambar 5.1

Dalam studi *in-vitro*, radioisotop dapat dimasukkan ke dalam tubuh pasien secara inhalasi melalui saluran pernapasan, melalui mulut maupun injeksi. Kepada pasien diberikan radiofarmaka yang sesuai dengan jenis pemeriksaan yang dikehendaki. Berbagai jenis radiofarmaka digunakan untuk mempelajari berbagai jenis organ. Setelah masuk ke dalam tubuh, radiofarmaka akan menuju ke organ tertentu. Karena senyawa tersebut dapat memancarkan radiasi-g, maka keberadaannya di dalam organ tubuh dapat

diketahui dengan pemantau radiasi, baik kinetik maupun distribusinya. Pemantau radiasi yang digunakan dalam pemeriksaan ini berupa kamera gamma yang dapat mendeteksi sinar-g dari bagian tubuh pasien yang sedang diperiksa.

Kamera gamma merupakan peralatan kedokteran nuklir yang utama 7. Alat ini mampu menghasilkan gambar atau mengukur fungsi dari organ yang sedang dipelajari. Seringkali juga digunakan kamera gamma yang berputar untuk membuat gambar organ tubuh dalam tiga dimensi. Penggunaan komputer yang dirangkai dengan kamera gamma ini dapat membantu dalam interpretasi hasil pemeriksaan. Diagnosis yang menghasilkan gambar ini dikenal dengan teknik pencitraan (*imaging studies*).

Gambar citra yang dihasilkan bisa berupa gambar statik maupun gambar dinamik. Gambar statik memberi informasi kondisi organ pada suatu saat tertentu saja, sedang gambar dinamik memberikan informasi berupa perubahan keadaan pada organ atau bagian tubuh selama kurun waktu tertentu. Studi dinamik mengukur kinerja suatu organ atau sistem tubuh menurut fungsi waktu. Informasi yang diperoleh dengan teknik pencitraan tersebut, di samping berupa gambar (citra) organ atau bagian tubuh maupun seluruh tubuh (*whole body imaging*), juga dapat berupa kurva-kurva atau angka-angka yang bisa dianalisis lebih lanjut. Dengan menggabungkan hasil pemeriksaan kedokteran nuklir dan hasil pemeriksaan sinar-X serta pemeriksaan lainnya, akan diperoleh hasil analisis yang lengkap mengenai kondisi pasien.

Selain dengan teknik pencitraan, diagnosis dengan kedokteran nuklir dapat juga dilakukan dengan teknik pemeriksaan tanpa menghasilkan gambar (*non-imaging studies*). Pemeriksaan tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menghitung aktivitas radioisotop yang terdapat pada organ atau bagian tubuh yang mengakumulasi radioisotop dengan menempatkan pemantau radiasi-g di atas organ atau bagian tubuh yang diperiksa (*external counting technique*).
2. Menghitung aktivitas radioisotop yang terdapat dalam contoh bahan biologik yang diambil dari tubuh pasien setelah mendapatkan pemberian radiofarmaka

tertentu. Perhitungan aktivitas dilakukan menggunakan pencacah radiasi-g berbentuk sumur (*sample counting technique*).

Baik *external counting* maupun *sample counting* hanya memberikan informasi berupa kurva maupun angka. Informasi tersebut mencerminkan fungsi organ atau bagian tubuh yang diperiksa. Namun, teknik ini merupakan cara yang akurat untuk mendapatkan data seperti volume darah total serta umur eritrosit.

Untuk tujuan diagnosis, pemeriksaan secara kedokteran nuklir dapat dilakukan dengan mudah, murah, serta dihasilkan informasi diagnosis yang akurat 8. Dari diagnosis ini dapat diperoleh informasi tentang fungsi organ tubuh yang diperiksa serta gambaran anatominya. Hal tersebut dimungkinkan karena sejumlah kecil radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop sangat mudah dideteksi dengan pemantau radiasi. Jika suatu jenis radioisotop dimasukkan ke dalam tubuh pasien, maka distribusi, laju distribusi, dan konsentrasi radioisotop tersebut sangat mudah dilacak menggunakan pemantau radiasi. Dewasa ini, peranan kedokteran nuklir cukup besar dalam menunjang diagnosis penyakit-penyakit secara cepat, tepat dan seringkali lebih dini. Hampir semua cabang ilmu kedokteran dapat memanfaatkan peranan kedokteran nuklir. Tes diagnostik dengan radioisotop dapat digunakan untuk mengetahui:

1. Baik tidaknya fungsi organ tubuh.
2. Proses penyerapan berbagai senyawa tertentu oleh tubuh.
3. Menentukan lokasi dan ukuran tumor dalam organ tubuh.

Radioisotop yang digunakan dalam teknik nuklir kedokteran berumur paro ($T_{1/2}$) sangat pendek, mulai dari beberapa menit sampai beberapa hari saja. Di samping berwaktu paro pendek, juga berenergi rendah dan diberikan dalam dosis yang kecil saja, mengingat ada efek sampingan dari radiasi yang merugikan terhadap tubuh apabila radioisotop tersebut tinggal terlalu lama di dalam tubuh. Technicium-99^m (^{99m}Tc) merupakan salah satu jenis radioisotop yang paling banyak digunakan dalam kedokteran nuklir untuk tujuan diagnosis. Radioisotop yang ditemukan oleh Perrier dan Serge pada

1961 ini dipilih karena mempunyai waktu paro sangat pendek, yaitu enam jam, sehingga dosis radiasi yang diterima pasien sangat rendah.

Technicium-99^m juga merupakan radioisotop pemancar sinar-g murni dengan energi 140,5 keV. Sinar-g yang dipancarkannya sangat mudah dideteksi. Sifat menguntungkan lainnya dari 99m Tc ini adalah dapat berikatan dengan berbagai bahan secara stabil, tidak beracun, murah, dan mudah penyediannya. Hingga kini, ada sebanyak 10 jenis radiofarmaka yang mengandung senyawa 99m Tc telah digunakan untuk kegiatan kedokteran nuklir. Diperkiraan setiap tahunnya paling tidak ada lima juta pasien di seluruh dunia menjalani diagnosis dengan 99m Tc ini.

Hampir seluruh organ dalam tubuh manusia dapat didiagnosis dengan teknik nuklir kedokteran, seperti pemeriksaan otak, limpa, hati, jantung, ginjal, tulang, darah, pembuluh darah, paru-paru, saluran pencernaan, kelenjar gondok, dan lain-lain. Teknik nuklir kedokteran juga dapat dipakai untuk memeriksa penyebaran penyakit kanker tulang. Hanya dengan teknik ini penyakit tersebut dapat dideteksi semenjak dini, sedang teknik lainnya baru bisa mendeteksinya bila penyakit tersebut telah lanjut. Teknik nuklir kedokteran juga dapat dipakai untuk mengetahui secara dini ada tidaknya penyakit jantung koroner. Beberapa contoh pemeriksaan kedokteran nuklir antara lain 10:

1. Sken (*scanning*) otak digunakan untuk memeriksa penyakit-penyakit otak, antara lain infeksi, tumor, dan kelainan vaskular. Dalam pemeriksaan ini, pasien diinjeksi dengan radiofarmaka. Untuk mempelajari sirkulasi darah, diambil gambar dinamik langsung setelah injeksi. Selanjutnya, diambil gambar statik tiga jam setelah injeksi untuk mengetahui adanya proses atau tumor dalam otak.
2. Uji tangkap tiroid dan sken tiroid digunakan untuk memeriksa fungsi tiroid serta kelainan-kelainan morfologi. Uji tangkap tiroid dilakukan dengan cara memberikan sejumlah kecil radiofarmaka kepada pasien secara peroral atau suntikan. Dilakukan deteksi radiasi pada kelenjar tiroid setelah 20 menit atau 24 jam pemberian radiofarmaka. Jumlah radiofarmaka yang ditangkap oleh kelenjar tiroid menunjukkan fungsi kelenjar tersebut. Sken tiroid dilakukan setelah injeksi radiofarmaka, gambar statik diambil dengan kamera gamma.

3. Sken paru-paru seringkali dipakai untuk mendeteksi adanya gumpalan darah dalam paru-paru. Proses pemeriksaan dilakukan dengan menginjeksikan partikel radiofarmaka yang akan terbawa aliran darah ke paru-paru. Pengambilan gambar dilakukan dengan kamera gamma. Pemeriksaan dengan kedokteran nuklir ini seringkali dikombinasikan dengan pemeriksaan menggunakan gas radioaktif yang dilakukan sehari sesudah atau sebelum sken dan disertai pula dengan pemeriksaan sinar-X.
4. Sken jantung digunakan untuk studi penyakit jantung koroner dan mengevaluasi fungsi jantung atau menentukan adanya serangan jantung yang baru saja terjadi.
5. Teknik nuklir dapat pula dipakai untuk sken hati, limpa, sistem empedu, ginjal, dan tulang. Kelainan ataupun penyakit yang ada pada organ-organ tersebut dapat didiagnosis dengan kedokteran nuklir.

6. Terapi Dengan Radioisotop

Untuk keperluan diagnostik, radioisotop diberikan kepada pasien dengan dosis kecil. Berbeda dengan diagnostik, pada pemakaian untuk keperluan radioterapi metabolik, radioisotop sengaja diberikan dalam dosis besar kepada pasien. Dalam kegiatan terapi ini digunakan radioisotop pemancar partikel dengan energi yang cukup besar agar mampu menghancurkan atau mematikan sasaran yang umumnya berupa sel-sel ganas (kanker) 11. Dengan pemberian dosis yang besar, dapat diperoleh dosis radiasi yang cukup apabila distribusi radioisotop tidak merata pada jaringan yang diterapi. <>Untuk tujuan terapi, pengobatan dengan radiasi baru dilakukan apabila pengobatan cara biasa mengalami kegagalan. Pengobatan ini dilakukan dengan cara memberikan obat radioaktif pada pasien. Radioisotop pemancar campuran partikel dan gamma mempunyai keuntungan tersendiri karena radiasi-g yang dipancarkannya memungkinkan dilakukannya penentuan parameter yang perlu diketahui dalam radioterapi, seperti laju pengambilan radioisotop oleh organ yang diobati, umur paro efektif dari radioisotop, dan lain-lain.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi dalam pemilihan radioisotop untuk tujuan terapi, antara lain jenis dan energi radiasi serta waktu paro dari radioisotop. Dalam

praktik saat ini, radioisotop pemancar partikel- β merupakan unsur yang paling banyak digunakan untuk terapi. Sifat yang menguntungkan dari partikel- β ini adalah dapat memindahkan seluruh energi yang dibawanya kepada jaringan yang ditempati sejauh beberapa mm saja. Oleh sebab itu, sel kanker pada jaringan yang ditempati radioisotop akan rusak atau mati oleh radiasi, sementara sel-sel normal yang berada di sekitarnya hanya sedikit mengalami kerusakan. Radioisotop yang digunakan juga dipilih yang mempunyai $T_{1/2}$ relatif panjang, dari beberapa puluh jam sampai beberapa hari.

Beberapa radioisotop sudah digunakan secara luas untuk terapi sejak 1930. Radioisotop ^{131}I telah banyak dipakai untuk pengobatan berbagai gangguan pada kelenjar tiroid, seperti hiperfungsi kelenjar tiroid (*hyperthyroidi*), tumor tiroid, dan lain-lain. Sudah lebih dari sejuta pasien terbukti aman diobati dengan teknik ini. Radioisotop ^{131}I juga telah digunakan untuk pengobatan jenis tumor tertentu, terutama *neuroblastoma* dan *pheochromocytoma*. Radioisotop ^{32}P dipakai untuk pengobatan *hemangioma* (tumor pembuluh darah) dan keganasan pada sel-sel darah merah. Radioisotop ^{153}Sm EDTMP dipakai untuk terapi paliatif penyebaran tumor ganas pada tulang. Radioisotop lainnya yang juga digunakan untuk radioterapi kanker adalah isotop-isotop pemancar partikel- β seperti ^{186}Re , ^{115}Cd , ^{90}Y , ^{169}Eu , dan ^{166}Dy .

Penyebaran kanker ganas pada tulang di seluruh dunia mendorong perlunya pengembangan bahan baru untuk meringankan penderita penyakit ini. Diperkirakan setengah dari pasien yang menderita kanker prostat, payudara, dan paru-paru akhirnya berkembang menjadi kanker ganas pada tulang. Penggunaan radiofarmaka EDTMP- ^{135}Sm dan ^{89}Sr telah didemonstrasikan secara efektif dapat mengurangi rasa sakit pada tulang. Uji klinik ini telah dilakukan di Amerika, Eropa, Cina, Jepang, dan Australia.

Metode pengiriman radioisotop menuju bagian tubuh yang akan diterapi dilakukan sama seperti pengiriman radioisotop tersebut untuk diagnosis sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Pada terapi dengan radiofarmaka, radioisotop dalam bentuk senyawa diberikan kepada pasien secara oral maupun suntikan yang kemudian secara selektif terakumulasi dalam kanker di bagian tubuh atau organ tertentu. Jadi, proses terapinya menggunakan radiasi yang dipancarkan radioisotop yang mengendap dalam sel

kanker itu sendiri (*internal radiation*). Senyawa yang dipakai sebagai radiofarmaka harus disesuaikan dengan sifat metabolik dan biologi kanker, sehingga radiofarmaka tersebut dapat membawa radioisotop ke lokasi kanker yang dituju.

Selain memanfaatkan radioisotop pemancar partikel- β , saat ini juga diteliti kemungkinan pemanfaatan radioisotop pemancar partikel- α sebagai bahan penanda radiofarmaka yang potensial di masa mendatang. Astatin-211 (^{211}At) dan ^{212}Bi merupakan isotop pemancar partikel- α yang cukup menarik perhatian. Partikel- α ini dapat dipakai untuk terapi kanker yang paling efektif karena dapat memindahkan seluruh energinya kepada sel jaringan sejauh 10-15 mm saja. Jarak ini kira-kira sama dengan ukuran sel itu sendiri.

Belakangan ini, banyak dilakukan penelitian mengenai kemungkinan penggunaan antibodi monoklonal yang ditandai dengan radioisotop. Antibodi monoklonal adalah antibodi yang sangat spesifik terhadap satu jenis antigen (reseptor) saja. Sebagaimana telah dikemukakan sebelumnya mengenai komponen penyusun radiofarmaka, penggunaan antibodi monoklonal radioaktif untuk terapi dimungkinkan karena radiasi yang dipancarkan oleh radioisotop dapat dipakai untuk membunuh sel kanker, sedang antibodinya sendiri berfungsi membawa radioisotop agar secara selektif terakumulasi di tingkat seluler di tempat yang dikehendaki saja. Antibodi itu akan mencari antigen sehingga diharapkan akan terjadi irradiasi jaringan tumor secara maksimum tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada sel-sel normal.

7. PEMANFAATAN TEKNIK NUKLIR DI LUAR KEDOKTERAN NUKLIR

a. TEKNIK PENGAKTIVAN NEUTRON

Teknik nuklir ini dapat digunakan untuk menentukan kandungan mineral tubuh terutama untuk unsur-unsur yang terdapat dalam tubuh dengan jumlah yang sangat kecil (Co, Cr, F, Fe, Mn, Se, Si, V, Zn, dsb) sehingga sulit ditentukan dengan metoda konvensional. Kelebihan teknik ini terletak pada sifatnya yang tidak merusak dan

kepekaannya yang sangat tinggi. Disini contoh bahan biologik yang akan diperiksa ditembaki dengan neutron

b. PENENTUAN KERAPATAN TULANG DENGAN BONE DENSITOMETER

Pengukuran kerapatan tulang dilakukan dengan cara menyinari tulang dengan radiasi gamma atau sinar-X. Berdasarkan banyaknya radiasi gamma atau sinar-X yang diserap oleh tulang yang diperiksa maka dapat ditentukan konsentrasi mineral kalsium dalam tulang. Perhitungan dilakukan oleh komputer yang dipasang pada alat kekeroposan tulang (*osteoporosis*) yang sering menyerang wanita pada usia menopause (*mati haid*) sehingga menyebabkan tulang mudah patah.

c.. THREE DIMENSIONAL CONFORMAL RADIOTHERAPY (3D-CRT)

Terapi dengan menggunakan sumber radiasi tertutup atau pesawat pembangkit radiasi telah lama dikenal untuk pengobatan penyakit kanker. Perkembangan teknik elektronika maju dan peralatan komputer canggih dalam duadekade ini telah membawa perkembangan pesat dalam teknologi radioterapi. Dengan menggunakan pesawat pemercepat partikel generasi terakhir telah dimungkinkan untuk melakukan radioterapi kanker dengan presisi dan tingkat keselamatan yang tinggi yang akan dikenai radiasi, memformulasikan serta memberikan paparan radiasi dengan dosis yang tepat pada target.