

MODUL 2 MATERI SULIT UN

Modul 2: Pemanfaatan Bahan Radioaktif dalam Teknologi dan Kehidupan Sehari-hari

Oleh: Yusman Wiyatmo, M.Si.

Pengantar:

Dalam modul 2 ini, Anda akan mempelajari pemanfaatan bahan radioaktif (radioisotop) dalam bidang teknologi dan kehidupan sehari-hari.

Dalam mempelajari modul 2 ini, terdapat satu kegiatan belajar yaitu kegiatan belajar 1. Dalam kegiatan belajar 1, Anda akan mempelajari pemanfaatan radioisotop dalam bidang teknologi dan kehidupan sehari-hari seperti misalnya dalam bidang arkeologi, kesehatan/kedokteran, pertanian, dan industri.

Setelah Anda mempelajari modul 2 ini, Anda diharapkan dapat memahami pemanfaatan radioisotop dalam teknologi dan kehidupan sehari-hari. Secara khusus, Anda diharapkan dapat:

1. Menjelaskan penerapan radioisotop di bidang kesehatan/kedokteran
2. Menjelaskan penerapan radioisotop di bidang pertanian
3. Menjelaskan penerapan radioisotop di bidang arkeologi
4. Menjelaskan penerapan radioisotop di bidang industri

KEGIATAN BELAJAR 1 :

Materi 1

PENGGUNAAN RADIOISOTOP (ZAT RADIOAKTIF)

Uraian Materi:

Produksi radioisotop

Radioisotop dapat terjadi secara alamiah atau sengaja (sintesis) dibuat oleh manusia dalam reaktor penelitian. Radioisotop yang sering digunakan dalam berbagai bidang kebutuhan manusia seperti bidang kesehatan, pertanian, hidrologi dan industri, **pada umumnya tidak terdapat di alam**, karena kebanyakan umur paronya relatif pendek. Oleh karena dibuat radioisotop sintesis. Produksi radioisotop dengan proses aktivasi (sintesis) dilakukan dengan cara menembaki isotop stabil dengan neutron di dalam teras reaktor. Proses ini lazim disebut irradiasi neutron, sedangkan bahan yang disinari disebut target atau sasaran. Proses tersebut dibuat di dalam suatu reaktor nuklir yang mempunyai kerapatan (fluks) neutron tinggi dengan mereaksikan antara inti atom tertentu dengan neutron. Neutron yang

ditembakkan akan masuk ke dalam inti atom target sehingga jumlah neutron dalam inti target tersebut bertambah. Peristiwa ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan inti atom sehingga berubah sifat menjadi radioaktif. Selain itu, radioisotop dapat juga diproduksi menggunakan akselerator melalui proses reaksi antara inti atom tertentu dengan suatu partikel, misalnya alpha, neutron, proton atau partikel lainnya.

Satuan radiasi

Berbagai macam satuan digunakan untuk menyatakan intensitas atau jumlah radiasi bergantung pada jenis yang diukur.

Curie (Ci) dan Becquerrel (Bq)

Curie dan Bequerrel adalah satuan yang dinyatakan untuk menyatakan keaktifan yakni jumlah disintegrasi (peluruhan) dalam satuan waktu. Dalam sistem satuan SI, keaktifan dinyatakan dalam Bq. Satu Bq sama dengan satu disintegrasi per sekon.

$$1\text{Bq} = 1 \text{ dps}$$

dps = disintegrasi per sekon

Satuan lain yang juga biasa digunakan ialah Curie. Satu Ci ialah keaktifan yang setara dari 1 gram garam radium, yaitu $3,7 \cdot 10^{10}$ dps.

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ dps} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Gray (gy) dan Rad (Rd)

Gray dan Rad adalah satuan yang digunakan untuk menyatakan keaktifan yakni jumlah (dosis) radiasi yang diserap oleh suatu materi. Rad adalah singkatan dari radiation absorbed dose. Dalam sistem satuan SI, dosis dinyatakan dengan Gray (Gy). Satu Gray adalah absorpsi 1 joule per kilogram materi. $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Satu rad adalah absorpsi 10^{-3} joule energi/gram jaringan.

$$1 \text{ Rd} = 10^{-3} \text{ J/g.}$$

Hubungan gray dengan rad $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rd}$

Rem

Daya perusak dari sinar-sinar radioaktif tidak saja bergantung pada dosis tetapi juga pada jenis radiasi itu sendiri. Neutron, sebagai contoh, lebih berbahaya daripada sinar beta dengan dosis dan intensitas yang sama. Rem adalah satuan dosis setelah memperhitungkan pengaruh radiasi pada makhluk hidup (rem adalah singkatan dari *radiation equivalen for man*).

Zat radio aktif adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan aktivitas jenis lebih besar daripada 70 kBq/kg atau 2 nCi/g (tujuh puluh kilobecquerel per kilogram atau dua nanocurie per gram). Angka 70 kBq/kg (2 nCi/g) tersebut merupakan patokan dasar untuk suatu zat dapat disebut zat radioaktif pada umum-nya yang ditetapkan berdasarkan ketentuan dari Badan Tenaga Atom Internasional (International Atomic Energy Agency). Namun, masih terdapat beberapa zat yang walaupun mempunyai aktivitas jenis lebih rendah daripada batas itu dapat dianggap sebagai zat radioaktif karena tidak mungkin ditentukan batas yang sama bagi semua zat mengingat sifat masing-masing zat tersebut berbeda. Berikut manfaat dan bahaya zat radio aktif pada kehidupan sehari-hari:

Contoh-Contoh Pemanfaatan Zat Radioaktif dalam Berbagai Bidang

1. Bidang Arkeologi : Menentukan umur fosil dengan C-14

Karbon 14 (C-14) adalah isotop karbon radioaktif yang dihasilkan di atmosfer bagian atas oleh radiasi kosmis. Senyawa utama di atmosfer yang mengandung karbon adalah karbon dioksida (CO₂). Sangat sedikit sekali jumlah karbon dioksida yang mengandung isotop C-14. Tumbuhan menyerap C-14 selama fotosintesis. Dengan demikian, C-14 terdapat dalam struktur sel tumbuhan. Tumbuhan kemudian dimakan oleh hewan, sehingga C-14 menjadi bagian dari struktur sel pada semua organisme.

Selama suatu organisme hidup, jumlah isotop C-14 dalam struktur selnya akan tetap konstan. Tetapi, bila organisme tersebut mati, jumlah C-14 mulai menurun. Para ilmuwan kimia telah mengetahui waktu paruh dari C-14, yaitu 5730 tahun. Dengan demikian, mereka dapat menentukan berapa lama organisme tersebut mati.

Pelacakan radioaktif dengan menggunakan isotop C-14 telah digunakan untuk menentukan usia kerangka yang ditemukan di situs-situs arkeologi. Belakangan ini, isotop C-14 digunakan untuk mengetahui usia *Shroud of Turin (kain kafan dari Turin)*, yaitu sepotong kain linen pembungkus mayat manusia dengan gambaran seorang manusia tercetak di atasnya. Banyak yang berpikir bahwa itu adalah bahan pembungkus Nabi Isa. Tetapi, pada tahun 1988, *pelacakan radiokarbon* menemukan bahwa bahan tersebut berasal dari tahun 1200-1300 SM. Meskipun kita tidak mengetahui bagaimana bentuk orang itu tercetak pada kain kafan tersebut, **pelacakan radioaktif C-14** membuktikan bahwa bahan tersebut bukan kain kafan Nabi Isa.

Pelacakan dengan isotop C-14 hanya dapat digunakan untuk menentukan usia sesuatu yang pernah hidup (organisme). Isotop ini tidak dapat digunakan untuk menentukan umur batuan bulan atau meteorit. Untuk benda-benda mati, para ilmuwan kimia menggunakan isotop lainnya, seperti Kalium 40 (K-40).

2. Bidang Kedokteran

Penggunaan radioaktif untuk kesehatan sudah sangat banyak, dan sudah berapa juta orang di dunia yang terselamatkan karena pemanfaatan radioaktif ini. Sebagai contoh sinar X untuk penghancur tumor atau untuk foto tulang. Berdasarkan radiasinya:

a. Sterilisasi radiasi.

Radiasi dalam dosis tertentu dapat mematikan mikroorganisme sehingga dapat digunakan untuk sterilisasi alat-alat kedokteran. Sterilisasi dengan cara radiasi mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan sterilisasi konvensional (menggunakan bahan kimia), yaitu:

- 1) Sterilisasi radiasi lebih sempurna dalam mematikan mikroorganisme.
- 2) Sterilisasi radiasi tidak meninggalkan residu bahan kimia.
- 3) Karena dikemas dulu baru disterilkan maka alat tersebut tidak mungkin tercemar bakteri lagi sampai kemasan terbuka. Berbeda dengan cara konvensional, yaitu disterilkan dulu baru dikemas, maka dalam proses pengemasan masih ada kemungkinan terkena bibit penyakit.

b. Terapi tumor atau kanker.

Co-60 : pemancar gamma untuk terapi tumor/ kanker. Berbagai jenis tumor atau kanker dapat diterapi dengan radiasi. Sebenarnya, baik sel normal maupun sel kanker dapat dirusak oleh radiasi tetapi sel kanker atau tumor ternyata lebih sensitif (lebih mudah rusak). Oleh karena itu, sel kanker atau tumor dapat dimatikan dengan mengarahkan radiasi secara tepat pada sel-sel kanker tersebut.

c. Penentuan Kerapatan Tulang Dengan Bone Densitometer

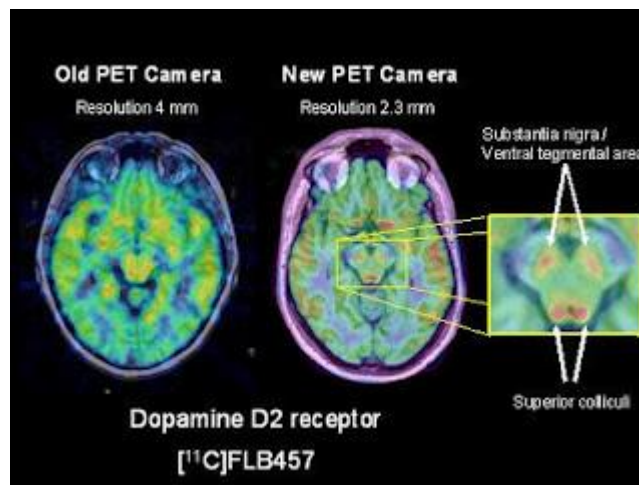
Pengukuran kerapatan tulang dilakukan dengan cara menyinari tulang dengan radiasi gamma atau sinar-X. Berdasarkan banyaknya radiasi gamma atau sinar-X yang diserap oleh tulang yang diperiksa maka dapat ditentukan konsentrasi mineral kalsium dalam tulang. Perhitungan dilakukan oleh komputer yang dipasang pada alat bone densitometer tersebut. Teknik ini bermanfaat untuk membantu mendiagnosis kekeroposan tulang (osteoporosis) yang sering menyerang wanita pada usia menopause (matihaid).

d. Three Dimensional Conformal Radiotherapy (3d-Crt)

Terapi radiasi 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 dua dekade ini telah membawa perkembangan pesat dalam teknologi radioterapi. Dengan menggunakan pesawat pemercepat partikel generasi terakhir telah dimungkinkan untuk melakukan radioterapi kanker dengan sangat presisi dan tingkat keselamatan yang tinggi melalui kemampuannya yang sangat selektif untuk membatasi bentuk jaringan tumor yang akan dikenai radiasi, memformulasikan serta memberikan paparan radiasi dengan dosis yang tepat pada target. Dengan memanfaatkan teknologi 3D-CRT ini sejak tahun 1985 telah berkembang metoda pembedahan dengan menggunakan radiasi pengan sebagai pisau bedahnya (gamma knife). Dengan teknik ini kasus-kasus tumor ganas yang sulit dijangkau dengan pisau bedah konvensional menjadi dapat diatasi dengan baik oleh pisau gamma ini, bahkan tanpa perlu membuka kulit pasien dan yang terpenting tanpa merusak jaringan di luar target.

c. PET (Positron Emission Tomography)

PET merupakan salah satu hasil di garis depan pengembangan radioisotop untuk dunia kedokteran. PET adalah metode visualisasi fungsi tubuh menggunakan radioisotop pemancar positron. Oleh karena itu, citra (image) yang diperoleh adalah citra yang menggambarkan fungsi organ tubuh. Kelainan dan ketidaknormalan fungsi atau metabolisme di dalam tubuh dapat diketahui dengan metode pencitraan (imaging) ini. Hal ini berbeda dengan metode visualisasi tubuh yang lain, seperti MRI (magnetic resonance imaging) dan CT (computed tomography). MRI dan CT scans adalah visualisasi anatomi tubuh yang menggambarkan bentuk organ tubuh. Dengan kedua metode ini, yang terdeteksi adalah kelainan dan ketidaknormalan bentuk organ.



Gambar 1. Hasil Pencitraan dengan PET

Berbagai kelainan metabolisme di dalam tubuh, termasuk di dalamnya adalah adanya metabolisme sel kanker, dapat diketahui dengan cepat melalui PET. Salah satu bentuk perbedaan sel kanker dengan sel normal di sekelingnya adalah pada bentuk metabolisme glukosa. Sel kanker mengonsumsi glukosa dalam jumlah yang lebih besar dari sel di sekelilingnya. Secara umum, kecepatan pertumbuhan sel kanker yang mencerminkan tingkat keganasannya sebanding dengan tingkat konsumsi glukosa. Bentuk metabolisme glukosa di dalam tubuh ini dapat dideteksi menggunakan bahan radiofarmaka ^{18}F FDG (^{18}F -2-fluoro-2-deoxy-D-glucose). Keberadaan radioisotop fluor-18 yang ada di dalam senyawa tersebut dapat dideteksi dengan mudah dari luar tubuh melalui radiasi yang dipancarkannya.

Dengan meletakkan detektor radiasi di luar tubuh, image reconstruction terhadap sebaran fluor-18 di dalam tubuh dapat dilakukan dengan mengolah sinyal-sinyal yang ditangkap oleh detektor tersebut. Sebaran fluor-18 di dalam tubuh ini menunjukkan pola metabolisme glukosa di berbagai bagian tubuh.

Konsumsi glukosa yang berlebihan di suatu tempat mengindikasikan adanya metabolisme sel kanker di tempat tersebut. Inilah yang dinamakan menemukan kanker dalam bentuk benih. Meskipun secara bentuk fisik belum ditemukan atau belum terdeteksi, keberadaan kanker telah diketahui ketika metabolisme sel kanker telah terjadi. Kemampuan radioisotop

memburu kanker pada stadium ini belum dapat ditandingi oleh metode lain. Penemuan adanya sel kanker pada stadium sangat dini ini akan memudahkan penanganan selanjutnya.

PET dapat pula digunakan pula untuk menganalisis hasil penanganan kanker yang telah dilakukan. Setelah operasi pengangkatan kanker melalui operasi, misalnya, perlu dilakukan pemeriksaan apakah masih ada benih benih kanker yang tersisa. Untuk keperluan ini, PET merupakan metode yang paling tepat karena pada kondisi ini keberadaan kanker sulit dilihat secara fisik.

Yang diperlukan adalah melihat keberadaan metabolisme sel kanker. Selain itu, PET dapat pula digunakan untuk melihat kemajuan pengobatan kanker baik dengan chemotherapy maupun radiotherapy. Kemajuan hasil pengobatan kanker dapat diketahui dari perubahan metabolisme di samping perubahan secara fisik. Untuk keperluan ini, kombinasi PET dan CT memberikan informasi yang sangat berharga untuk menentukan tingkat efektivitas pengobatan yang telah dilakukan.

Perangkat PET secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian produksi fluor-18, bagian sintesa ^{18}F FDG, dan bagian kamera PET. Penggunaan PET diawali dengan proses produksi radioisotop fluor-18. Radioisotop fluor-18 diproduksi dari isotop oksigen-18 menggunakan siklotron.

Partikel bermuatan berupa proton ditembakkan dari siklotron ke dalam inti oksigen-18 dan terbentuklah fluor-18 sambil melepaskan sebuah neutron. Oksigen di alam memiliki kandungan isotop oksigen-18 sebanyak 0,20 persen. Sisanya berupa isotop oksigen-16 dan oksigen-17 dengan kandungan masing-masing sebesar 99,76 persen dan 0,04 persen.

Karena kandungan oksigen-18 di alam sangat kecil, maka untuk keperluan ini diperlukan oksigen yang telah ditingkatkan kandungan isotop oksigen-18 di dalamnya. Peningkatan kandungan isotop oksigen-18 ini dapat dilakukan sampai lebih dari 90 persen. Pada proses produksi fluor-18 ini, oksigen-18 digunakan dalam bentuk air (H_2O).

Radioisotop fluor-18 yang telah didapatkan digunakan untuk mensintesa ^{18}F FDG. Reaksi "menempelkan" fluor-18 ini dikenal dengan reaksi penandaan (labelling). Di beberapa negara yang telah menggunakan PET secara rutin seperti Jepang, Amerika Serikat, dan Korea, reaksi penandaan ini dilakukan menggunakan alat otomatis.

Pertimbangan utama penggunaan alat otomatis ini adalah mempercepat waktu proses. Hal ini dikarenakan fluor-18 memiliki waktu paruh, waktu yang diperlukan untuk meluruh sehingga radioaktivitas tinggal separuhnya, yang pendek kurang dari 2 jam (110 menit). Jadi, reaksi penandaan ini berpacu dengan waktu. Jika proses ini terlalu lama, sebagian besar fluor-18 telah meluruh sehingga radioaktivitasnya akan berkurang jauh dari radioaktivitas awal.

Setelah ^{18}F FDG selesai disiapkan, radiofarmaka tersebut segera disuntikkan ke pasien. Jumlah yang disuntikkan antara 10 dan 20 milicurie, tergantung keperluan, kondisi kamera, dan sebagainya. Di University of Iowa, misalnya, secara rutin digunakan ^{18}F FDG sebanyak 10 milicurie untuk tiap pasien guna mendeteksi metabolisme sel kanker.

Sebaran fluor-18 di dalam tubuh dideteksi dengan memasukkan tubuh ke dalam rangkaian detektor elektronik berbentuk melingkar. Dari hasil pendeteksian ini dilakukan image reconstruction untuk mendapatkan gambaran sebaran fluor-18 di dalam tubuh. Perangkat kamera PET biasanya telah dilengkapi dengan program untuk keperluan ini sehingga hasil image reconstruction dapat diperoleh dengan mudah.

Kamera PET memiliki kejernihan citra yang lebih baik dibandingkan dengan kamera gamma yang secara umum digunakan pada kedokteran nuklir. Hal ini dikarenakan pendeteksian didasarkan pada coincidence detection. Ketika positron dilepaskan dari fluor-18, partikel ini akan segera bergabung dengan elektron dan terjadilah anihilasi.

Dari anihilasi ini dihasilkan radiasi gelombang elektromagnetik dengan energi sebesar 511 keV dengan arah berlawanan (180 derajat). Adanya dua buah photon yang dilepaskan secara bersamaan ini memungkinkannya dilakukan coincidence detection. Pada coincidence detection ini, sinyal yang ditangkap oleh detektor akan diolah jika dua buah sinyal diperoleh secara bersamaan. Jika hanya satu buah sinyal yang ditangkap, sinyal tersebut dianggap sebagai pengotor. Oleh karena itu, hampir seluruh sinyal pengotor dapat dieliminasi dengan cara ini.

PET hanyalah salah satu dari beberapa hasil terdapan pemanfaatan radioisotop pada penanganan kanker. Berbagai aplikasi lain sedang dikembangkan di laboratorium-laboratorium terkemuka di bidang ini. Salah satu contohnya adalah pengembangan cancer seeking agent dengan memanfaatkan metabolisme spesifik yang terjadi pada sel kanker.

d. Teknik Pengaktifan 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 sangat tinggi. Di sini contoh bahan biologik yang akan diperiksa ditembak dengan neutron.

Penggunaan radioaktif dalam bidang kedokteran terutama untuk pendeteksian jenis kelainan di dalam tubuh dan untuk penyembuhan kanker yang sangat sukar dioperasi menggunakan metode lama. Prinsip radioaktif ini juga dimanfaatkan untuk pengendalian kualitas bahan di dalam suatu industri yang dapat dipergunakan dengan mudah dan dengan ketelitian yang tinggi. Radioisotop yang digunakan dalam bidang kedokteran dapat berupa sumber terbuka (unsealed source) dan sumber tertutup (sealed source). Ketika radioisotop tersebut tidak dapat dipergunakan lagi, maka sumber radioaktif bekas tersebut sudah menjadi limbah radioaktif.

Dalam bidang kedokteran, radiografi digunakan untuk mengetahui bagian dalam dari organ tubuh seperti tulang, paru-paru dan jantung. Dalam radiografi dengan menggunakan film sinar-x, maka obyek yang diamati sering tertutup oleh jaringan struktur lainnya, sehingga didapatkan pola gambar bayangan yang didominasi oleh struktur jaringan yang tidak diinginkan. Hal ini akan membingungkan para dokter untuk

mendiagnosa organ tubuh tersebut. Untuk mengatasi hal ini maka dikembangkan teknologi yang lebih canggih yaitu CT-Scanner.

Radioisotop Teknesium-99m (Tc-99m) merupakan radioisotop primadona yang mendekati ideal untuk mencari jejak di dalam tubuh. Hal ini dikarenakan radioisotop ini memiliki waktu paro yang pendek sekitar 6 jam sehingga intensitas radiasi yang dipancarkannya berkurang secara cepat setelah selesai digunakan. Radioisotop ini merupakan pemancar gamma murni dari jenis peluruhan electron capture dan tidak memancarkan radiasi partikel bermuatan sehingga dampak terhadap tubuh sangat kecil. Selain itu, radioisotop ini mudah diperoleh dalam bentuk carrier free (bebas pengemban) dari radioisotop molibdenum-99 (Mo-99) dan dapat membentuk ikatan dengan senyawa-senyawa organik. Radioisotop ini dimasukkan ke dalam tubuh setelah diikatkan dengan senyawa tertentu melalui reaksi penandaan (labelling).

Di dalam tubuh, radioisotop ini akan bergerak bersama-sama dengan senyawa yang ditumpanginya sesuai dengan dinamika senyawa tersebut di dalam tubuh. Dengan demikian, keberadaan dan distribusi senyawa tersebut di dalam tubuh yang mencerminkan beberapa fungsi organ dan metabolisme tubuh dapat dengan mudah diketahui dari hasil pencitraan. Pencitraan dapat dilakukan menggunakan kamera gamma. Radioisotop ini dapat pula digunakan untuk mencari jejak terjadinya infeksi bakteri, misalnya bakteri tuberkulose, di dalam tubuh dengan memanfaatkan terjadinya reaksi spesifik yang disebabkan oleh infeksi bakteri. Terjadinya reaksi spesifik tersebut dapat diketahui menggunakan senyawa tertentu, misalnya antibodi, yang bereaksi secara spesifik di tempat terjadinya infeksi. Beberapa saat yang lalu di Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) BATAN telah berhasil disintesa radiofarmaka bertanda teknesium-99m untuk mendeteksi infeksi di dalam tubuh. Produk hasil litbang ini saat ini sedang direncanakan memasuki tahap uji klinis.

Dalam bidang kesehatan radioisotop digunakan sebagai perunut (tracer) untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada suatu organ tubuh. Selain itu radiasi dari radioisotop tertentu dapat digunakan untuk membunuh sel-sel kanker sehingga tidak perlu dilakukan pembedahan untuk mengangkat jaringan sel kanker tersebut. Berikut ini adalah contoh beberapa radioisotop yang dapat digunakan dalam bidang kesehatan (Sutresna, 2007).

Contoh radioisotop dalam bidang kedokteran :

- 1). Radioisotop natrium-24 dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan peredaran darah dalam tubuh manusia. Larutan NaCl yang tersusun atas Na-24 dan Cl yang stabil disuntikkan ke dalam darah dan aliran darah dapat diikuti dengan mendeteksi sinar yang dipancarkan, sehingga dapat diketahui jika terjadi penyumbatan aliran darah.
- 2). Untuk mempelajari kelainan pada kelenjar tiroid, mendeteksi kerusakan pada kelenjar gondok, hati dan otak digunakan radioisotop I-131
- 3). Radioisotop fosfor dapat dipakai untuk menentukan tempat tumor di otak. Selain itu, fosfor-32 juga merupakan radioisotop andalan dalam terapi polisitemia vera dan leukemia.
- 4). Radioisotop Fe-59 dapat digunakan untuk mengukur laju pembentukan sel darah merah dalam tubuh dan untuk menentukan apakah zat besi dalam makanan dapat digunakan dengan baik oleh tubuh.

- 5). Pu-238 energi listrik dari alat pacu jantung
- 6). Tc-99 & Ti-201 untuk mendeteksi kerusakan jantung
- 7). Xe-133 untuk mendeteksi penyakit paru-paru
- 8). Fe-59 : mempelajari pembentukan sel darah merah
- 9). P-32 digunakan untuk pengobatan penyakit polycythemia rubavera, yaitu pembentukan sel darah merah yang berlebihan. Di dalam penggunaannya P-32 disuntikkan ke dalam tubuh sehingga radiasinya yang memancarkan sinar beta dapat menghambat pembentukan sel darah merah pada sumsum tulang.
- 10). Cr-51 untuk mendeteksi kerusakan limpa
- 11). Se-75 Mendeteksi kerusakan Pankreas
- 12). Ga-67 Memeriksa kerusakan getah bening
- 13). C-14 Mendeteksi diabetes dan anemia

Unsur Lain yang Dapat digunakan dalam Bidang Kedokteran

1. Bismuth-213 (46 menit): digunakan untuk terapi alfa ditargetkan (TAT), terutama kanker, karena memiliki energi tinggi (8.4 MeV).
2. Kromium-51 (28 detik): digunakan untuk label sel darah merah dan menghitung kerugian protein gastro-intestinal.
3. Cobalt-60 (5,27 tahun): dahulu digunakan untuk radioterapi berkas eksternal, sekarang lebih banyak digunakan untuk sterilisasi
4. Disprosium-165 (2 jam): digunakan sebagai hidroksida agregat untuk perawatan synovectomy arthritis.
5. Erbium-169 (9,4 detik): digunakan untuk menghilangkan rasa sakit arthritis di sendi sinovial.
6. Holmium-166 (26 jam): dikembangkan untuk diagnosis dan pengobatan tumor hati
7. Iodine-125 (60 detik): digunakan dalam brachytherapy kanker (prostat dan otak), juga diagnosa untuk mengevaluasi tingkat filtrasi ginjal dan untuk mendiagnosis deep vein thrombosis di kaki. Hal ini juga banyak digunakan dalam radioimmuno-pengujian untuk menunjukkan adanya hormon dalam jumlah kecil.
8. Iodine-131 (8 detik) *: banyak digunakan dalam mengobati kanker tiroid dan dalam pencitraan tiroid, juga dalam diagnosis fungsi hati yang abnormal, ginjal (ginjal) aliran darah dan obstruksi saluran kemih. Sebuah emitor gamma kuat, tetapi digunakan untuk terapi beta.
9. Iridium-192 (74 detik): disertakan dalam bentuk kawat untuk digunakan sebagai sumber radioterapi internal untuk pengobatan kanker (digunakan kemudian dihapus).
10. Besi-59 (46 detik): digunakan dalam studi metabolisme besi dalam limpa.
11. Lead-212 (10.6 jam): digunakan dalam TAT untuk kanker, dengan produk peluruhan Bi-212, Po-212, Tl-208.
12. Lutetium-177 (6.7 detik): Lu-177 semakin penting karena hanya memancarkan gamma cukup untuk pencitraan sedangkan radiasi beta melakukan terapi pada kecil (misalnya endokrin) tumor. setengah-hidup cukup lama untuk memungkinkan persiapan yang canggih untuk digunakan. Hal ini biasanya dihasilkan oleh aktivasi neutron dari target lutetium alam atau diperkaya-176.
13. Molibdenum-99 (66 jam) *: digunakan sebagai 'orang tua' dalam generator untuk menghasilkan teknesium-99m.
14. Palladium-103 (17 detik): digunakan untuk membuat benih brachytherapy implan permanen untuk kanker prostat tahap awal.
15. Fosfor-32 (14 detik): digunakan dalam pengobatan polisitemia vera (kelebihan sel darah merah).

16. Kalium-42 (12 jam): digunakan untuk penentuan kalium tukar dalam aliran darah koroner.
17. Rений-186 (3,8 detik): digunakan untuk menghilangkan rasa sakit pada kanker tulang.
18. Rений-188 (17 jam): Digunakan untuk arteri koroner, menyinari dari balon angioplasty.
18. Samarium-153 (47 jam): Sm-153 sangat efektif dalam mengurangi rasa sakit kanker sekunder bersarang di tulang, dijual sebagai Quadramet. Juga sangat efektif untuk prostat dan kanker payudara.
19. Selenium-75 (120 detik): digunakan dalam bentuk seleno-metionin untuk mempelajari produksi enzim pencernaan.
20. Sodium-24 (15 jam): untuk studi elektrolit dalam tubuh.
21. Stronsium-89 (50 detik) *: sangat efektif dalam mengurangi rasa sakit prostat dan kanker tulang.
22. Technetium-99m (6 jam): digunakan untuk gambar otot kerangka dan jantung pada khususnya, tetapi juga untuk otak, tiroid, (perfusi dan ventilasi) paru-paru, hati, limpa, ginjal (struktur dan tingkat filtrasi), kantung empedu, tulang sumsum, ludah dan kelenjar lakrimal, kolam darah jantung, infeksi dan banyak penelitian medis khusus. Diproduksi dari Mo-99 dalam generator.
23. Xenon-133 (5 detik) *: digunakan untuk paru-paru.
24. Iterbium-169 (32 detik): digunakan untuk studi cairan cerebrospinal di otak.
25. Iterbium-177 (1,9 jam): nenek moyang Lu-177.
26. Yttrium-90 (64 jam) *: digunakan untuk brachytherapy kanker dan sebagai silikat koloid untuk menghilangkan rasa sakit arthritis pada sendi sinovial lebih besar. Tumbuh signifikan dalam terapi.
27. Radioisotop cesium, emas dan ruthenium juga digunakan dalam brachytherapy.
28. Karbon-11, Nitrogen-13, Oksigen-15, Fluorin-18: adalah positron emitter digunakan dalam PET untuk mempelajari fisiologi otak dan patologi, khususnya untuk pemisahan fokus epilepsi, dan demensia, psikiatri dan studi neuropharmacology. Mereka juga memiliki peran penting dalam kardiologi F-18 dalam FGD (fluorodeoxyglucose) telah menjadi sangat penting dalam deteksi kanker dan pemantauan kemajuan dalam pengobatan mereka, dengan menggunakan PET.
29. Cobalt-57 (272 detik): digunakan sebagai penanda untuk memperkirakan ukuran organ dan untuk kit diagnostik in-vitro.
30. Tembaga-64 (13 jam): digunakan untuk mempelajari penyakit genetik yang mempengaruhi metabolisme tembaga, seperti Wilson dan penyakit Menke, dan untuk pencitraan PET tumor, dan terapi.
31. Tembaga-67 (2.6 detik): digunakan dalam terapi.
32. Fluor-18 sebagai FLT (fluorothymidine) miso,-F (fluoromisonidazole), 18F-kolin: digunakan untuk pelacak.
33. Gallium-67 (78 jam): digunakan untuk pencitraan tumor dan lokalisasi lesi inflamasi (infeksi).
34. Gallium-68 (68 menit): positron emitor digunakan dalam PET dan unit PET-CT Berasal dari germanium-68 dalam generator.
35. Germanium-68 (271 detik): digunakan sebagai 'orang tua' dalam generator untuk menghasilkan Ga-68.
36. Indium-111 (2,8 detik): digunakan untuk studi diagnostik spesialis, misalnya studi otak, infeksi dan studi usus transit.
37. Iodine-123 (13 jam): semakin digunakan untuk diagnosis fungsi tiroid, ini adalah emitor gamma tanpa radiasi beta I-131.
38. Iodine-124: pelacak.

39. Krypton-81m (13 detik) dari Rubidium-81 (4,6 jam): gas Kr-81m dapat menghasilkan gambar fungsi ventilasi paru, misalnya pada pasien asma, dan untuk diagnosis awal penyakit paru-paru dan fungsi.
40. Rubidium-82 (1,26 menit): digunakan sebagai PET agen dalam pencitraan perfusi miokard.
41. Stronsium-82 (25 detik): digunakan sebagai induk untuk menghasilkan Rb-82.
42. Talium-201 (73 jam): digunakan untuk mendiagnosa kondisi arteri koroner jantung penyakit lain seperti kematian otot jantung dan untuk lokasi limfoma tingkat rendah.

3. Bidang Hidrologi

a. Untuk menguji kecepatan aliran sungai atau aliran lumpur

Radioisotop ini dapat digunakan untuk mengukur debit air. Biasanya, radioisotop natrium-24 (Na-24) digunakan dalam bentuk garam NaCl. Dalam penggunaannya, garam ini dilarutkan ke dalam air atau lumpur yang akan diteliti debitnya. Pada tempat atau jarak tertentu, intensitas radiasi diperiksa, sehingga rentang waktu yang diperlukan untuk mencapai jarak tersebut dapat diketahui (Abdul Jalil Amri Arma, 2009). Teknik hidrologi yang menggunakan radioisotop mampu secara akurat melacak dan mengukur ketersediaan air dari suatu sumber air di bawah tanah. Teknik tersebut memungkinkan untuk melakukan analisis, pengelolaan dan pelestarian sumber air yang ada dan pencarian sumber air baru. Teknik ini dapat memberikan informasi mengenai asal, usia dan distribusi, hubungan antara air tanah, air permukaan dan sistem pengisiannya.

b. Untuk mendeteksi kebocoran pada pipa bawah tanah

Untuk mendeteksi kebocoran pada pipa-pipa yang ditanam di bawah tanah, biasanya digunakan radioisotop Na-24 dalam bentuk garam NaCl atau Na_2CO_3 . Radioisotop Na-24 ini dapat memancarkan sinar gamma yang bisa dideteksi dengan menggunakan alat pencacah radioaktif Geiger Counter. Untuk mendeteksi kebocoran pada pipa air, garam yang mengandung radioisotop Na-24 dilarutkan ke dalam air. Kemudian, permukaan tanah di atas pipa air diperiksa dengan Geiger Counter. Intensitas radiasi yang berlebihan menunjukkan adanya kebocoran. Radioisotop juga dapat digunakan untuk menguji kebocoran sambungan logam pada pembuatan rangka pesawat (Sutresna, 2007).

Pemanfaatan lainnya sebagai perunut adalah untuk mencari kebocoran pada bendungan dan saluran irigasi, mempelajari pergerakan air dan lumpur pada daerah pelabuhan dan bendungan, laju alir, serta laju pengendapan. Selain radiasi gamma, radiasi neutron banyak juga digunakan untuk mengukur kelembaban permukaan tanah.

4. Bidang Biologis

- a. Mempelajari mekanisme fotosintesis. Radioisotop ini, berupa karbon-14 (C-14) atau oksigen-18 (O-18). Keduanya dapat digunakan untuk mengetahui asal-usul atom oksigen (dari CO_2 atau dari H_2O) yang akan membentuk senyawa glukosa atau oksigen yang dihasilkan pada proses fotosintesis : $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
- b. Mempelajari proses penyerapan air serta sirkulasinya di dalam batang tumbuhan.
- c. Mempelajari pengaruh unsur-unsur hara selain unsur-unsur N, P, dan K terhadap perkembangan tumbuhan.
- d. Memacu mutasi gen tumbuhan dalam upaya mendapatkan bibit unggul.

- e. Mempelajari kesetimbangan dinamis.
- f. Mempelajari reaksi penggeseran.

5. Bidang Ilmu Kimia

a. Teknik Perunut

Teknik perunut dapat dipakai untuk mempelajari mekanisme berbagai reaksi kimia. Misal pada **reaksi esterifikasi**. Dengan oksigen-18 dapat diikuti reaksi antara asam karboksilat dan alkohol. Dari analisis spektroskopi massa, reaksi esterifikasi yang terjadi dapat ditulis seperti berikut. (isotop oksigen-18 diberi warna). Hasil analisis ini menunjukkan bahwa molekul air tidak mengandung oksigen-18.

b. Penggunaan Isotop dalam Bidang Kimia Analisis

Penggunaan isotop dalam analisis digunakan untuk menentukan unsur-unsur kelumit dalam cuplikan. Analisis dengan radioisotop atau disebut radiometrik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu, sebagai berikut.

- 1) **Analisis Pengeceran Isotop.** Larutan yang akan dianalisis dan larutan standar ditambahkan sejumlah larutan yang mengandung suatu spesi radioaktif. Kemudian zat tersebut dipisahkan dan ditentukan aktivitasnya. Konsentrasi larutan yang dianalisis ditentukan dengan membandingkannya dengan larutan standar.
- 2) I-131 untuk mempelajari kesetimbangan dinamis.
- 2) **Analisis Aktivasi Neutron (AAN).** Analisis aktivasi neutron dapat digunakan untuk menentukan unsur kelumit dalam cuplikan yang berupa padatan. Misal untuk menentukan logam berat (Cd) dalam sampel ikat laut. Sampel diiradiasi dengan neutron dalam reaktor sehingga menjadi radioaktif. Salah satu radiasi yang dipancarkan adalah sinar gamma. Selanjutnya sampel dicacah dengan spektrometer gamma untuk menentukan aktivitas dari unsur yang akan ditentukan.

6. Bidang pertanian

a. Efisiensi Pemupukan

Pupuk harganya relatif mahal dan apabila digunakan secara berlebihan akan merusak lingkungan, sedangkan apabila kurang dari jumlah seharusnya hasilnya tidak efektif. Untuk itu perlu diteliti jumlah pupuk yang diserap oleh tanaman dan berapa yang dibuang ke lingkungan. Penelitian ini dilakukan dengan cara memberi "label" pupuk yang digunakan dengan suatu isotop, seperti nitrogen-15 atau phosphor-32. Pupuk tersebut kemudian diberikan pada tanaman dan setelah periode waktu dilakukan pendeteksian radiasi pada tanaman tersebut.

b. Penemuan Tanaman Varietas Baru

Mutasi tanaman (untuk menemukan varietas unggul). Salah satu cara untuk mendapatkan rangkaian sifat yang baik yaitu dengan mengubah faktor pembawa sifat (gen).

Perubahan gen yang dapat menyebabkan perubahan sifat makhluk hidup dan diwariskan disebut mutasi. Sinar radioaktif yang biasanya digunakan untuk mutasi adalah sinar gamma yang dipancarkan dari radioaktif Cobalt-60. Contohnya adalah padi atomita dan kedelai muria.

Seperti diketahui, radiasi pengion mempunyai kemampuan untuk merubah sel keturunan suatu makhluk hidup, termasuk tanaman. Dengan berdasar pada prinsip tersebut, maka para peneliti dapat menghasilkan jenis tanaman yang berbeda dari tanaman yang telah ada sebelumnya dan sampai saat ini telah dihasilkan 1800 jenis tanaman baru.

Varietas baru tanaman padi, gandum, bawang, pisang, cabe dan biji-bijian yang dihasilkan melalui teknik radioisotop mempunyai ketahanan yang lebih tinggi terhadap hama dan lebih mampu beradaptasi terhadap perubahan iklim yang ekstrim.

c. Pengendalian Hama Serangga

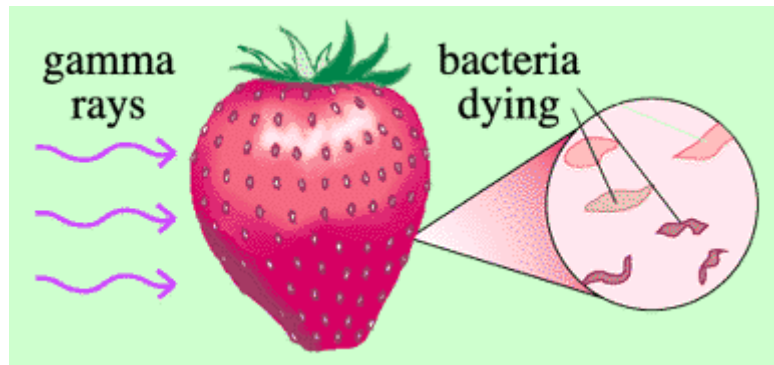
Di seluruh dunia, hilangnya hasil panen akibat serangan hama serangga kurang lebih 25-35%. Untuk memberantas hama serangga sejak lama para petani menggunakan insektisida kimia. Akhir-akhir ini insektisida kimia dirasakan menurun keefektifannya, karena munculnya serangga yang kebal terhadap insektisida. Selain itu insektisida juga mulai dikurangi penggunaannya karena insektisida meninggalkan residu yang beracun pada tanaman. Salah satu metode yang mulai banyak digunakan untuk menggantikan insektisida dalam mengendalikan hama adalah teknik serangga mandul.

Teknik serangga mandul dilakukan dengan mengiradiasi serangga menggunakan radiasi gamma untuk memandulkannya. Serangga jantan mandul tersebut kemudian dilepas dalam jumlah besar pada daerah yang diserang hama. Apabila mereka kawin dengan serangga betina, maka tidak akan dihasilkan keturunan. Dengan melepaskan serangga jantan mandul secara berulang, populasi hama serangga akan turun secara menyolok. Teknik ini telah digunakan secara intensif di banyak negara penghasil pertanian seperti Amerika Selatan, Mexico, Jamaika dan Libya.

d. Pengawetan Makanan

Kerusakan makanan hasil panen dalam penyimpanan akibat serangga, pertunasan dini atau busuk, dapat mencapai 25-30%. Kerugian ini terutama diderita oleh negara-negara yang mempunyai cuaca yang panas dan lembab. Pengawetan makanan banyak digunakan dengan tujuan untuk menunda pertunasan pada umbi-umbian, membunuh serangga pada biji-bijian, pengawetan hasil laut dan hasil peternakan, serta rempah-rempah.

Pada teknik pengawetan dengan menggunakan radiasi, makanan dipapari dengan radiasi gamma berintensitas tinggi yang dapat membunuh organisme berbahaya, tetapi tanpa mempengaruhi nilai nutrisi makanan tersebut dan tidak meninggalkan residu serta tidak membuat makanan menjadi radioaktif. Teknik iradiasi juga dapat digunakan untuk sterilisasi kemasan. Di banyak negara kemasan karton untuk susu disterilkan dengan iradiasi.



Gambar 2. Penyinaran dengan Sinar Gamma Pada Pengawetan Makanan

Tabel 1. Dosis Iradiasi Makanan dan Tujuannya

DOSIS	TUJUAN	PRODUK
Dosis rendah (s.d. 1 kGy)	Menghambat pertunasan	Kentang, bawang, jahe, rempah-rempah
	Membunuh serangga dan parasit	Makanan kering, buah segar, padi-padian
	Penundaan kematangan/pembusukan	Buah segar, sayuran
Dosis menengah (1-10 kGy)	Memperpanjang masa penyimpanan	Ikan, strawberry, jamur
	Menunda pembusukan, membunuh serangga berbahaya	Hasil laut dan hasil ternak
High dose (10-50 Gy)	Sterilisasi	Hasil peternakan, hasil laut, makanan siap masak
	Dekontaminasi	Rempah-rempah

Manfaat sinar radioaktif dalam pengawetan makanan adalah:

- Menghambat pertunasan pada beberapa bahan makanan, misalnya bawang, kentang, jahe, kunyit dan kencur.
- Memperpanjang masa simpan beberapa hasil pertanian segar, misalnya menunda kematangan buah.
- Mengurangi bakteri-bakteri pembusuk daging.
- Membebasakan atau sterilisasi rempah-rempah.
- Mengendalikan kuman-kuman penyebab penyakit dan kuman-kuman parasit yang ada dalam makanan.

Beberapa keuntungan menggunakan sinar radioaktif dalam pengawetan makanan antara lain:

- Sifat bahan makanan tidak berubah.
- Dapat meningkatkan mutu.
- Tidak menurunkan nilai gizi.
- Tidak menimbulkan zat sisa pengawet.
- Dapat dilakukan pada makanan yang dikemas sederhana.
- Mengetahui masa pemupukan yang paling baik.

6. Bidang Industri

Saat ini radioaktif digunakan oleh industri. Misalnya industri pupuk, atau bahkan digunakan oleh perusahaan yang mencari sumber sumber baru minyak bumi yang ada di perut bumi.

a. Pemeriksaan tanpa merusak.

Radiasi sinar gamma dapat digunakan untuk memeriksa cacat pada logam atau sambungan las, yaitu dengan meronsen bahan tersebut. Tehnik ini berdasarkan sifat bahwa semakin tebal bahan yang dilalui radiasi, maka intensitas radiasi yang diteruskan makin berkurang, jadi dari gambar yang dibuat dapat terlihat apakah logam merata atau ada bagian-bagian yang berongga didalamnya. Pada bagian yang berongga itu film akan lebih hitam.

b. Mengontrol ketebalan bahan

Ketebalan produk yang berupa lembaran, seperti kertas film atau lempeng logam dapat dikontrol dengan radiasi. Prinsipnya sama seperti diatas, bahwa intensitas radiasi yang diteruskan bergantung pada ketebalan bahan yang dilalui. Detektor radiasi dihubungkan dengan alat penekan. Jika lembaran menjadi lebih tebal, maka intensitas radiasi yang diterima detektor akan berkurang dan mekanisme alat akan mengatur penekanan lebih kuat sehingga ketebalan dapat dipertahankan.

c. Pengawetan bahan

Radiasi juga telah banyak digunakan untuk mengawetkan bahan seperti kayu, barang-barang seni dan lain-lain. Radiasi juga dapat meningkatkan mutu tekstil karena inengubah struktur serat sehingga lebih kuat atau lebih baik mutu penyerapan warnanya. Berbagai jenis makanan juga dapat diawetkan dengan dosis yang aman sehingga dapat disimpan lebih lama. Radiasi sinar gamma dapat dilakukan pada pengawetan makanan melalui dua cara: (1) Membasmi mikroorganisme, misalnya pada pengawetan rempah-rempah, seperti merica, ketumbar, dan kemiri, dan (2) Menghambat pertunasan, misalnya untuk pengawetan tanaman yang berkembang biak dengan pembentukan tunas, seperti kentang, bawang merah, jahe, dan kunyit.

d. Meningkatkan mutu tekstil: misalnya: mengubah struktur serat tekstil.

e. Untuk mempelajari pengaruh oli dan aditif pada mesin selama mesin bekerja

7. Pemanfaatan Radioisotop Untuk Pembangkit Tenaga Listrik

Reaksi inti menghasilkan energi yang sangat besar. Pada pembangkit tenaga nuklir (PLTN), energi inti digunakan untuk memanaskan air sehingga terbentuk uapa. Kemudian, uap in digunakan untuk mengerakkan turbin. Peregerakan turbin merupakan energi mekanik yang dapat memberi kemampuan generator untuk mengubah energi mekanik tersebut menjadi energi listrik. Pada PLTN, reaksi inti berlangsung terkendali di dalam suatu reaktor nuklir (Sutresna, 2007).

8. Pemanfaatan Radioisotop Dalam Bidang Pertambangan

Tritium radioaktif dan cobalt 60 digunakan untuk merunut alur-alur minyak bawah tanah dan kemudian menentukan strategi yang paling baik untuk menyuntikkan air ke dalam sumur-sumur. Hal ini akan memaksa keluar minyak yang tersisa di dalam kantong-kantong yang sebelumnya belum terangkat. Berjuta-juta barrel tambahan minyak mentah telah diperoleh dengan cara ini (Bangkit Sanjaya, 2009)

Soal Latihan

1. Jelaskan cara memproduksi radioisotop yang berumur pendek pada reaktor nuklir!
2. Sebutkan 2 satuan radiasi yang sering digunakan dalam proses irradiasi pengawetan bahan makanan!
3. Sebutkan 3 keunggulan sterilisasi dengan radiasi dibandingkan sterilisasi dengan cara konvensional!
4. Bagaimanakah cara menentukan umur fosil dengan menggunakan Carbon-14?
5. Sebutkan manfaat radioisotop I-131 dalam bidang kedokteran!
6. Jelaskan cara pengendalian hama tanaman dengan menggunakan zat radioaktif dengan teknik jantan mandul!
7. Sebutkan tiga manfaat zat radioaktif dalam bidang industri!
8. Sebutkan minimal 4 buah unsur radioaktif yang sering digunakan dalam bidang kedokteran!
9. Apakah yang dimaksud dengan PET? Jelaskan pemanfaatan PET dalam mendeteksi kanker!
10. Mengapa buah klengkeng yang diradiasi dapat tahan lama?

Rangkuman Materi 1

1. Dalam bidang arkeologi C-14 dapat dimanfaatkan untuk menentukan umur fosil dari tumbuhan, binatang, dan manusia purba.
2. Dalam bidang kedokteran, zat radioaktif dapat dimanfaatkan sebagai perunut, sterilisasi alat-alat kedokteran, terapi kanker, metode deteksi kanker, dsb.
3. Dalam bidang hidrologi zat radioaktif dapat dimanfaatkan untuk menentukan kecepatan aliran air dan mencari kebocoran pada pipa, bendungan, dan saluran irigasi.
4. Di bidang biologi zat radioaktif dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme fotosintesis, sirkulasi air dalam batang, mutasi gen, dsb.
5. Di bidang kimia zat radioaktif digunakan untuk perunut reaksi esterifikasi, kesetimbangan dinamis, AAN, dsb.
6. Di bidang pertanian zat radioaktif dapat digunakan untuk mendapatkan bibit unggul, pengendalian hama dengan teknik jantan mandul, efisiensi pemupukan, dsb.

7. Di bidang industri zat radioaktif dapat dimanfaatkan untuk pengujian tanpa merusak, pengawetan bahan makanan, pengukuran ketebalan bahan, meningkatkan kualitas tekstil, dsb.
8. Di bidang energi, reaksi fisi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan PLTN menggunakan reaktor daya.
9. Di bidang pertambangan tritium radioaktif dan cobalt 60 digunakan untuk merunut alur-alur minyak bawah tanah.

Tes Formatif 1

Petunjuk: Berilah tanda silang pada huruf a, b, c atau d untuk pilihan jawaban yang paling tepat!

1. Untuk menentukan umur mumi dapat digunakan zat radioaktif

a. C-14	c. I-131
b. Co-60	d. U-235
2. Terapi tumor atau kanker dapat digunakan sinar gama yang dihasilkan oleh

a. C-14	c. I-131
b. Co-60	d. U-235
3. Dalam bidang hidrologi, zat radioaktif yang dapat digunakan untuk menentukan kecepatan aliran sungai adalah

a. B-10	c. O-15
b. C-14	d. Na-24
4. Berikut ini adalah pemanfaatan zat radioaktif dalam bidang biologi, *kecuali*
 - a. untuk mempelajari mekanisme fotosintesis
 - b. menghasilkan mutasi gen
 - c. mempelajari sirkulasi air dalam batang
 - d. sengendalian hama dengan teknik jantan mandul
5. Teknik perunut reaksi esterifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan zat radioaktif

a. B-10	c. O-18
b. C-14	d. Na-24
6. Di bidang pertanian, untuk mendapatkan bibit padi unggul otomita menggunakan zat radioaktif

a. C-14	c. I-131
b. Co-60	d. U-235
7. Dalam bidang industri pengawetan makanan manfaat yang diperoleh dari penggunaan bahan radioaktif adalah sebagai berikut, **kecuali**
 - a. Menghambat pertunasan pada beberapa bahan makanan, misalnya bawang & kentang
 - b. Memperpanjang masa simpan beberapa hasil pertanian segar
 - c. Mengurangi bakteri-bakteri pembusuk daging.
 - d. Meningkatkan citarasa produk pangan olahan.

