

Dampak Radiasi Radioaktif Terhadap Kesehatan

Muhlis Malaka

IAIN Ternate, Maluku Utara, Indonesia
muhlis@iain-ternate.ac.id

Abstrak

Radioactive elements or radionuclides in the environment can be grouped into two big categories, namely natural radionuclides and artificial radionuclides that both can serve as a source of radiation nature or environment. Source radiation source nice neighborhood the physical and fabrications can serve as a source of radiation on the human body. Radiation received the human body can come from sunber and external internal. An external source is the source of radiation lying outside the human body, while internal resources are a source of radiation inside the human body.

Key Words: Radioactive, radiation, health

Abstrak

Unsur radioaktif atau radionuklida dalam lingkungan dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori besar, yaitu radionuklida alami dan radionuklida buatan yang keduanya dapat berfungsi sebagai sumber radiasi alam atau lingkungan. Sumber radiasi sumber lingkungan bagus fisik dan fabrikasi dapat berfungsi sebagai sumber radiasi pada tubuh manusia. Radiasi menerima tubuh manusia dapat datang dari sumber dan internal eksternal. Sumber eksternal adalah sumber radiasi berbaring di luar tubuh manusia, sementara sumber daya internal adalah sumber radiasi di dalam tubuh manusia.

Kata kunci: radioaktif, radiasi, Kesehatan

A. Pendahuluan

Ditinjau dari proses terbentuknya, unsur-unsur radioaktif atau radionuklida yang ada di lingkungan dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar, yaitu radionuklida alam dan radionuklida buatan yang keduanya dapat berperan sebagai sumber radiasi alam atau lingkungan. Dikatakan sebagai radionuklida alam karena sumber radiasi itu sudah ada semenjak alam ini terbentuk. Radionuklida alam yang terdapat di lingkungan dapat dikelompokkan menjadi dua golongan yaitu:

1. Radionuklida Kosmogenik

Radionuklida kosmogenik adalah radionuklida yang terbentuk akibat interaksi antara sinar kosmik dengan atom target yang terdapat dalam atmosfer. Radionuklida yang ada

di atmosfer jatuh ke permukaan bumi bersamaan dengan angin, hujan, dan salju. Sumber pencemaran lingkungan oleh radionuklida alam diantaranya yaitu pembakaran batu bara, pemakaian bahan bakar/fosil, pemakaian bahan-bahan yang mengandung radionuklida, dan pemakaian fosfat alam.

2. Radionuklida Primordial

Radionuklida Primordial adalah radionuklida alam yang berasal dari dalam bumi. Radionuklida ini dapat ditemukan dalam lapisan tanah atau batuan, air serta udara. Unsur-unsur yang termasuk kelompok radionuklida primordial ini jumlahnya sangat banyak. Dari sekian banyak unsur tersebut, ada beberapa kelompok radionuklida alam yang tergolong sangat tua karena waktu paruhnya di atas 100 juta tahun. Pada umumnya batuan yang berumur sangat tua, yaitu lebih dari 600 juta tahun, mengandung bahan radioaktif ^{238}U dengan kadar yang relatif tinggi².

Jenis radiasi yang dihasilkan oleh radionuklida primordial disebut dengan radiasi terrestrial. Radiasi ini berasal dari mineral-mineral yang ada di dalam tanah. Terdapat tiga kelompok radionuklida primordial, yaitu deret Thorium, deret Uranium, dan deret Aktinium³.

Berdasarkan penyebaran radiasi ke lingkungan, radiasi primordial terbagi dalam dua kelompok yaitu NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) dan TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material).

a. NORM (Naturally Occurring Radioactive Material)

NORM (Naturally Occurring Radioactive Material) merupakan bahan radioaktif dari peluruhan deret primordial yang termobilisasi ke dalam makhluk hidup atau lingkungan secara alami sehingga sudah merupakan bagian dari kehidupan makhluk hidup. NORM terdapat di mana-mana, karena hampir semua bahan alami, baik di dalam tubuh, makanan, ataupun lingkungan sedikit banyak mengandung bahan radioaktif alami. Sumber radiasi ini masuk ke dalam tubuh melalui makanan, minuman, pernafasan, atau luka. Radiasi internal ini terutama diterima dari radionuklida ^{14}C , ^3H , ^{40}K , dan Radon. Selain itu masih ada sumber lain seperti ^{210}Pb , ^{210}Po yang banyak berasal dari ikan dan kerang-kerangan, sedangkan buah-buahan biasanya mengandung unsur ^{40}K .

b. TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material)

Kegiatan pada beberapa industri yang memanfaatkan bahan baku yang berasal dari dalam bumi dapat menyebabkan terjadinya peningkatan konsentrasi radionuklida alam. Hal ini disebabkan karena radionuklida alam yang terkandung dalam batuan pada kulit bumi selama proses kegiatan pengolahan dan pemanfaatannya termobilisasi, sehingga membentuk produk samping berupa bahan radioaktif. Bahan radioaktif yang terbentuk ini disebut TENORM (Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material). Radioaktif yang terkandung di dalam TENORM pada umumnya adalah ^{40}K , deret Uranium-238 (^{238}U), dan deret Thorium (^{232}Th). Radiasi eksternal yang diperoleh pekerja ataupun masyarakat karena fasilitas industri tersebut telah terkontaminasi oleh

TENORM, sedangkan radiasi internal diterima melalui pernafasan, makanan, dan minuman yang dikonsumsi.

Berbeda dengan radionuklida alam, radionuklida buatan adalah sumber radiasi yang proses terbentuknya melibatkan intervensi manusia, baik sumber tersebut sengaja dibuat untuk maksud-maksud tertentu atau merupakan hasil samping dari pemanfaatan teknologi nuklir oleh umat manusia, yang sebenarnya tidak disengaja atau bahkan tidak dikehendaki kemunculannya. Secara umum telah diketahui bahwa kerak bumi (misal tanah, bebatuan, pasir, dan air) mengandung bahan-bahan radioaktif alamiah, diantaranya yang dominan adalah U^{238} dan Th^{232} yang sudah ada dalam kerak bumi sejak bumi terbentuk, meluruh di dalam kerak bumi yang menjadi anak turuhannya yang radioaktif hingga terbentuk unsur-unsur radium (Ra^{226} dan Ra^{224}). Ra^{226} kemudian meluruh menjadi Rn^{222} (Radon) dan Ra^{24} meluruh menjadi Rn^{220} (Toron) yang keduanya merupakan unsur radioaktif gas mulia dan dapat beremansi ke udara. Di udara Radon dan Toron meluruh membentuk anak-anak luruhannya yang juga radioaktif dan pada umumnya mempunyai waktu paro yang relatif pendek, misalnya yang dominan di udara adalah Ra-B (Pb^{214}) dan Ra-C (Bi^{214}) dari turunan Radon serta Th-B (Pb^{212}) dan Th-C (Bi^{212}) dari turunan Toron.

Kegiatan-kegiatan manusia yang dapat menyebarkan radionuklida alam penghasil Radon adalah penambangan batubara, penambangan uranium, penambangan timah, penambangan gas alam, proyek geothermal, kegiatan-kegiatan yang berhubungan dengan vulkanik dan sebagainya. Kadar Radon yang tinggi juga ditemukan pada permukaan sumber air panas yang mencapai 1.000 sampai 10.000 kali kadar Radon dalam udara pada umumnya.

Penggunaan bahan-bahan sisa hasil pengolahan bahan tambang sebagai bahan bangunan untuk perumahan maupun gedung dapat memperbesar kadar Radon dalam ruangan. Di Eropa beredar beberapa jenis bahan bangunan yang dibuat darisisa pengolahan bahan tambang yang berkadar radioaktif alam tinggi seperti fosfogypsum, batu bata merah, blast-furnace slag asbes (asbestos), dan semen. Baik asbes maupun gipsa banyak dipakai sebagai plafon atau langit-langit rumah, dinding penyekat/pemisah ruangan dan juga sebagai atap.

Radon yang banyak terkandung dalam tanah dan bebatuan merupakan hasil peluruhan secara alami dari uranium dan thorium. Radon-222 dihasilkan dari peluruhan radium dengan umur paroh 3,825 hari. Radon-220, yang disebut Toron, berasal dari peluruhan thorium dengan umur paroh 55,6 detik. Sedangkan Radon-219 yang merupakan emanasi dari aktinium berumur paroh 3,96 detik. Dari ketiga radionuklida tersebut yang mempunyai waktu paroh terbesar adalah Radon-222. Radionuklida ini bernomor atom 86 dengan berat atom 222. Selama proses peluruhannya Radon memancarkan partikel alfa.

B. Pembahasan

1. Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tidak stabil untuk memancarkan radiasi dan berubah menjadi inti stabil. Proses perubahan ini disebut peluruhan yang berarti perubahan inti atom yang tidak stabil menjadi inti atom yang lain. Inti atom yang tidak stabil disebut radionuklida. Materi yang mengandung radionuklida disebut zat radioaktif. Dengan kata lain radioaktivitas adalah transmutasi inti suatu unsur karena memancarkan zat radioaktif alfa, beta atau gamma yang secara berurutan dikenal sebagai inti helium, elektron/positron dan foton berenergi tinggi.

Pada dasarnya ada empat deret radioisotop, yaitu selain yang disebutkan diatas, masih terdapat deret Neptunium (deret $4n + 1$) yaitu salah satu deret radioisotop yang memiliki umur paroh begitu pendek yang tidak dijumpai di alam, tetapi sudah dapat dibuat di Laboratorium dengan jalan menembak inti berat dengan neutron. Keempat deret radioisotop tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Empat deret radioaktif

Nomor Massa	Deretan	Induk	Umur paro (tahun)	Hasil akhir yang stabil
$4n$	Torium	${}_{90}^{232}Th$	$1,39 \times 10^{10}$	${}_{82}^{208}Pb$
$4n + 1$	Neptunium	${}_{93}^{237}Np$	$2,25 \times 10^6$	${}_{83}^{209}Bi$
$4n + 2$	Uranium	${}_{92}^{238}U$	$4,51 \times 10^9$	${}_{82}^{206}Pb$
$4n + 3$	Aktinium	${}_{89}^{227}Ac$	$7,15 \times 10^8$	${}_{83}^{207}Pb$

Peluruhan radioaktif adalah transmutasi inti dengan sendirinya tanpa ditumbuk partikel, dengan disertai memancarnya zat radioaktif, ataupun beserta radiasi. Peluruhan dari inti dengan tenaga E dan laju peluruhan yang dinyatakan oleh umur paro $T_{1/2}$, tertentu, yang tergantung pada

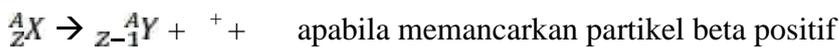
jenis unsur inti yang meluruh, serta tidak dipengaruhi oleh keadaan sekitarnya. Tiap inti memiliki tenaga dan konstanta peluruhan yang berbeda. Secara umum peluruhan radioaktif unsur X dapat di tulis sebagai berikut:



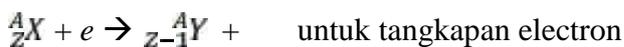
(1)



(2)



(3)



(4)

Setiap inti tak stabil akan meluruh menjadi inti baru dan partikel radiasi yang memenuhi hukum-hukum kekekalan massa-energi, momentum linier, muatan listrik dan momentum sudut total serta paritas, artinya bahwa besaran-besaran ini sebelum dan sesudah peluruhan haruslah sama. Inti tidak stabil, disebut inti induk, inti hasil peluruhannya disebut inti anak.

2. Sumber Radiasi Bagi Tubuh Manusia

Sumber -sumber radiasi lingkungan baik yang alamiah maupun buatan manusia dapat berperan sebagai sumber radiasi pada tubuh manusia. Radiasi yang diterima tubuh manusia dapat berasal dari sumber eksternal maupun internal. Sumber eksternal adalah sumber radiasi yang berada di luar tubuh manusia, sedangkan *sumber internal* adalah sumber radiasi yang berada di dalam tubuh manusia.

a. Sumber Radiasi Eksternal

Radiasi yang datang dari angkasa luar, serta sumber- sumber radiasi yang ada di sekeliling manusia termasuk dalam kategori sumber eksternal. Untuk jangka pendek, pelepasan unsur-unsur radioaktif hasil fisi baik karena kecelakaan reaktor nuklir maupun ledakan senjata nuklir dapat berpotensi sebagai sumber radiasi eksternal bagi sekelompok penduduk yang berada di sekitar lokasi pelepasan. Salah satu unsur radioaktif yang penting dalam peristiwa itu adalah ^{131}I . Radioisotop ini menghasilkan paparan radiasi terbesar dalam waktu singkat samapai beberapa minggu setelah peristiwa. Hal ini disebabkan karena ^{131}I dihasilkan melalui proses fisi dalam jumlah yang relatif besar. Radioisotop ^{131}I terkontaminasi radioaktif berupa jatuhan lokal maupun *tranposfer*. Namun karena waktu paro ($T_{1/2}$) dari radioisotop ini sangat pendek, yaitu 8 hari, maka ^{131}I yang masuk sampai ke stratosfer akan kehilangan keradioaktifannya sebelum mencapai ke bumi. Sedangkan untuk jangka panjang, karena sebagian besar unsur-unsur radioaktif hasil fisi umumnya berwaktu paro pendek, dan hanya beberapa jenis unsur radioaktif yang berwaktu paro panjang, maka potensi bahaya yang paling utama adalah masuknya unsur-unsur radioaktif berwaktu paro panjang ke dalam tubuh manusia. Unsur-unsur itu dapat berperan sebagai sumber radiasi internal bagi tubuh manusia.

Berdasarkan UNEP dalam bukunya Akhadi M, 2000, dosis radiasi dari sinar kosmis yang diterima penduduk bumi bergantung pada letak ketinggian seseorang bertempat tinggal. Dimana Dosis radiasi kosmis diatas permukaan laut sebesar 0,5 mSv/tahun. Dosis tersebut menjadi dua kali lipat setiap kenaikan posisi 1,5 km. Adapula yang memperkirakan akan terjadi penambahan 20 kali lipat pada ketinggian (4 12) km. Karena jenis pekerjaannya, awak pesawat terbang dapat menerima dosis radiasi dari sinar kosmis dalam jumlah lebih tinggi dibandingkan dengan masyarakat lain pada umumnya. Dosis tersebut bisa mencapai 7 mSv/tahun. Orang yang tinggal di daerah pegunungan juga dapat menerima dosis radiasi kosmis lebih tinggi dibandingkan dengan mereka yang tinggal di dataran rendah.

Dosis radiasi datang juga dari bahan-bahan yang di permukaan bumi. Perkiraan rata-rata menunjukkan bahwa manusia dapat menerima dosis radiasi dari sumber ini sebesar 0,5

mSv tiap tahun. Namun pada daerah-daerah tertentu, penduduk yang tinggal di daerah tersebut terpapar dosis radiasi yang cukup tinggi. Sebagai contoh, batuan granit di Prancis. Batuan tersebut dapat memancarkan dosis radiasi dengan dosis hampir 3 mSv per tahun. Sedangkan di Brasil, India, Nieu Island dan Uni Emirat Arab terdapat *pasir monosit* yang memancarkan radiasi dengan laju dosis bervariasi antara 8 sampai dengan 20 mSv/tahun. Dosis radiasi tersebut sebanding dengan radiasi gamma yang berasal dari pasir monosit dan batuan lokal lainnya. Jadi dosis radiasi alam dari sumber eksternal yang mungkin diterima oleh seseorang bergantung pada lokasi tempat tinggal orang tersebut.

Sekelompok orang karena jenis pekerjaannya juga dapat menerima dosis radiasi eksternal akibat pekerjaannya itu. Dosis radiasi tersebut umumnya berasal dari sumber radiasi buatan, seperti pesawat sinar-X, irradiator, reaktor nuklir, akselerator serta sumber-sumber eksternal lainnya.

b. Sumber Radiasi Internal

Sumber radiasi internal berupa unsur-unsur radioaktif yang masuk dan terikat oleh organ-organ tertentu di dalam tubuh. Terikatnya unsur radioaktif oleh organ tubuh disebabkan unsur radioaktif tersebut memiliki sifat kimia yang sama dengan unsur yang stabil. Karena sifat kimianya sama, maka organ tubuh tidak mampu membedakan antara unsur-unsur radioaktif dan unsur-unsur stabil. Jadi pada prinsipnya suatu unsur radioaktif dapat terikat oleh organ tubuh apabila unsur itu dibutuhkan oleh organ yang mengikatnya. Sumber ini akan memancarkan radiasinya ke sekeliling organ dimana sumber tersebut terikat. Jika suatu unsur radioaktif diperlukan masuk ke dalam tubuh, maka sumber tersebut tidak akan terikat oleh organ tubuh tertentu melainkan akan segera yang tidak dikeluarkan dari tubuh.

Ada beberapa unsur radioaktif alam yang berperan sebagai sumber radiasi internal antara lain: ^3H (tritium, T), ^7Be , ^{14}C , ^{40}K , ^{238}U , dan lain-lain. Sebanyak 99% ^3H yang terbentuk di atmosfer akan langsung berubah menjadi HTO, yaitu molekul air yang salah satu atom H-nya diganti oleh T. Tritium dapat masuk ke dalam tubuh melalui jalur makanan, pernapasan maupun minuman dalam bentuk HTO. Sebelumnya adanya percobaan senjata nuklir, kadar T dalam air permukaan sebesar 100 Bq/m^3 . Untuk T yang terbentuk secara alamiah, jumlah totalnya di atmosfer dalam keadaan seimbang mencapai 100 MCi. Tritium memberikan sumbangan terimaan dosis oleh manusia sebesar $0,01 \mu\text{Sv/tahun}$.

Percobaan senjata nuklir yang dilakukan oleh Amerika Serikat, Uni Soviet, dan Inggris di tahun 1960-an telah meningkatkan jumlah T di atmosfer. Pada tahun 1963, aktifitas T di atmosfer akibat percobaan senjata nuklir tersebut mencapai 2.000 MCi, namun karena radionuklida ini memiliki waktu paruh yang relatif pendek ($T_{1/2} = 12,3$ tahun), maka jumlahnya di atmosfer terus menurun. Pada tahun 1975, jumlah T dari percobaan senjata nuklir meluruh hingga menjadi setengah dari jumlah semula, yaitu sekitar 1.000 MCi, sedang pada tahun 1988 meluruh lagi menjadi 500 MCi, dan diperkirakan hingga tahun 2000 jumlah T dari percobaan senjata nuklir yang masih ada sekitar 250 MCi.

Sedangkan pada tahun 2013 kurang lebih jumlahnya sama dengan yang terbentuk secara alamiah.

Unsur ^7Be yang terdapat di dalam sayuran bertindak sebagai sumber radiasi yang masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur makanan. Kadar ^7Be juga terdapat dalam air permukaan daerah-daerah tinggi sekitar $0,003 \text{ Bq/m}^3$ dan dalam air hujan sekitar 700 Bq/m^3 . Sehingga setiap tahun tubuh manusia kemasukan ^7Be sekitar 50 Bq . Radionuklida ini memberikan sumbangan penerimaan dosis bagi tubuh manusia sebesar $0,2 \mu\text{Sv/tahun}$. Makanan sejenis bijibijian (*cereals*) seperti beras, gandum, jagung dan lain-lain biasanya mengandung lebih banyak radionuklida primordial dibandingkan dengan sayuran, buah-buahan maupun susu sapi. Dalam keadaan normal, radiasi alam yang diterima tubuh manusia bergantung pada berat tubuh seseorang.

Penyebaran ^{40}K di lingkungan mengikuti penyebaran isotop stabilnya, ^{39}K . ^{40}K dalam tanaman dan binatang, termasuk manusia merupakan masalah penting dalam kaitannya dengan sumber-sumber radiasi alam bagi manusia. ^{40}K ini banyak terdapat dalam sayuran hijau dan masuk ke dalam tubuh melalui jalur makanan. Kadarnya di dalam manusia kira-kira $60 \text{ Bq/kg-berat badan}$. ^{40}K yang terikat pada gonad memberikan dosis radiasi pada organ kritis tersebut sebesar $0,2 \mu\text{Sv/tahun}$. ^{40}K juga terdapat dalam darah. Kandungan kalium di dalam tubuh manusia kurang lebih $0,119\%$ dari berat tubuh, sedang kelimpahan ^{40}K di alam sebesar $0,0118\%$, sehingga dengan memanfaatkan kedua data tersebut aktivitas ^{40}K di dalam tubuh manusia dapat dihitung.

Radionuklida kosmogenik lain yang cukup penting karena berpotensi sebagai sumber radiasi internal bagi tubuh manusia adalah ^{14}C . Di dalam atmosfer bumi, unsur radioaktif ini akan bereaksi dengan oksigen membentuk C^*O_2 (C^* menunjukkan C yang radioaktif, dalam hal ini berupa $^{14}\text{CO}_2$). Selanjutnya melalui proses fotosintesis dan bantuan klorofil daun pada tanaman menghasilkan karbohidrat/glukosa.

Karbohidrat/glukosa ($\text{C}^*\text{H}_{12}\text{O}_6$) dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui rantai makanan baik langsung misal manusia mengkonsumsi karbohidrat tersebut maupun tidak langsung misalnya konsumsi ternak maupun produk lain yang dihasilkannya. Tubuh manusia rata-rata mendapat dosis radiasi dari ^{14}C sebesar $12 \mu\text{Sv/tahun}$. Radionuklida ini umumnya terikat pada jaringan lunak tubuh manusia.

Radon adalah anak luruh dari uranium-238 (^{238}U) yang merupakan Gas radioaktif terdapat dimana-mana karena mudah terlarut dalam udara, memberikan kontribusi terbesar dari radiasi yang diterima manusia dibandingkan sumber-paparan sumber radiasi lain yang terdapat di alam. Berdasarkan IAEA, $48,3\%$ dari total rata-rata dosis radiasi setiap tahun berasal dari Radon, sedangkan dari medis $11,2\%$, sinar kosmik $14,5\%$, sinar gamma $17,1\%$ dan internal $8,6\%$. Dari sumber-sumber lain seperti pelepasan dari instalasi nuklir (*nuclear discharges*), debu radioaktif hasil uji coba senjata nuklir (*fallout*), akibat pekerjaan, dan lain-lain hanya sekitar $0,6\%$.

Radon merupakan radionuklida yang dapat menyebabkan kanker paru-paru. Apabila manusia menghirup udara yang mengandung Radon maka resiko terkena kanker paru-

paru semakin bertambah. Berdasarkan penelitian di Amerika, Radon merupakan penyebab kedua dari penyakit ini, karena saat terjadi peluruhan Radon terpancar partikel alfa, yang bila menumbuk khromosom dalam sel paru, dapat menyebabkan perubahan reproduksi sel. Oleh karena itu untuk menghindari bahaya Radon yang timbul, maka sangat perlu diketahui distribusi emanasi Radon di lingkungan sekitar, terutama di dalam rumah atau gedung agar dapat dilakukan langkah antisipasi.

Batas maksimum konsentrasi radiasi alam di udara yang diperbolehkan bagi masyarakat umum sebesar 4×10^6 Bq/m³ untuk gas Radon dan 400 Bq/m³ untuk gas Toron. Batas aktivitas masukan tahunan melalui pernafasan untuk gas Radon maupun gas Toron sebesar 3×10^6 Bq¹⁴. Batas maksimum konsentrasi Radon dalam ruangan yang direkomendasikan oleh Komisi Internasional untuk Proteksi Radiasi (ICRP, *International Commission on Radiological Protection*) adalah 5,4 pCi/l (200 Bq/m³). Sedangkan Batasan udara yang terkontaminasi radioaktif dipakai untuk kadar U²³⁵ dan U²³⁸ dalam harian sebesar 20 Bq/m³.

Konsensus Internasional menyepakati dosis radiasi maksimum (MPD) bagi pekerja radiasi di ladang reaktor nuklir sebesar 5 rem (50 mSv) per tahun pada organ indung telur dan lensa mata, 30 rem (300 mSv) per tahun pada kulit, tulang, kelenjar gondok, dan 75 rem (750 mSv) per tahun pada kaki, Tangan dan tangan. Adapun bagi masyarakat umum, dosis radiasi maksimum tidak boleh melebihi 1/10 dari pekerja radiasi/. Dosis radiasi total yang diterima oleh masyarakat yang paling besar sumbangannya adalah 80% dari alam, 16% aplikasi medik, dan 4% dari radiasi lainnya.

Penelitian yang dilakukan Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir BATAN (2004) tentang pengaruh radiasi terhadap kromosom menunjukkan beberapa faktor yang mempengaruhi aberasi kromosom. Aberasi kromosom atau sering disebut perubahan struktur kromosom di pengaruhi oleh dosis radiasi, laju radiasi dan jenis radiasi. Radiasi yang berenergi tinggi memiliki kecenderungan lebih merusak daripada radiasi berenergi rendah, Sel manusia dalam keadaan normal mengandung 46 buah benang kromosom. Kromosom pembawa sifat ini terdiri atas molekul-molekul *Deoxy Ribonucleic Acid* (DNA) dan molekul protein. Apabila terjadi kerusakan sel, lebih-lebih kalau yang rusak kromosomnya akan berdampak sangat fatal bagi organ tubuh manusia secara keseluruhan. Tubuh manusia manakala terpapar radiasi akan menyerap energi radiasi dan penyerapan ini dilakukan oleh sel. Proses penyerapan radiasi berlangsung amat sangat singkat, kira-kira dalam waktu 10^{-16} detik¹⁸. Sel manusia sebagian besar terdiri atas air maka proses yang terjadi pertama kali pada sel adalah proses ionisasi. Air di dalam sel akan terurai menjadi ion positif H₂O⁺ dan ion negatif e⁻. Ion-ion yang terjadi bersifat reaktif dan akan menyerang molekul air lainnya dan akan terjadi ionisasi sekunder. Begitu seterusnya, ion-ion sekunder akan menyerang molekul air dan akan terjadi ionisasi tersier. Ionisasi yang terjadi baru merupakan awal kerusakan molekul air di dalam sel.

3. Proteksi Radiasi

Paparan radiasi dalam pekerjaan dapat terjadi akibat dari berbagai aktivitas manusia, termasuk pekerjaan yang berhubungan dengan tahap-tahap pengelolaan siklus bahan

bakar nuklir, pemanfaatan sumber radioaktif dan pesawat sinar- X, penelitian ilmiah, pertanian dan industri, serta pekerjaan lain yang berkaitan dengan penanganan bahan mineral yang mengandung radionuklida alam berkonsentrasi tinggi.

Proteksi radiasi merupakan bagian terpenting yang harus diketahui dalam setiap pekerjaan yang melibatkan penggunaan zat radiasi ataupun zat radioaktif baik yang berupa sumber radioaktif tertutup maupun sumber radioaktif terbuka. Dalam setiap pemakaian zat radiasi maupun zat radioaktif, masalah proteksi radiasi harus diutamakan karena menyangkut keselamatan manusia, sehingga dalam setiap penggunaan zat radiasi ataupun zat radioaktif harus ada tata kerja atau petunjuk pelaksanaan yang jelas demi terjaminnya keselamatan manusia maupun lingkungan.

Proteksi Terhadap Sumber Eksternal

Sumber radiasi yang berpotensi sebagai sumber radiasi eksternal adalah sumber pemancar sinar- α , pesawat sinar-X, sumber pemancar sinar- β , dan sumber pemancar neutron. Bahaya radiasi dari sumber-sumber eksternal ini dapat dikendalikan dengan menggunakan tiga prinsip dasar proteksi radiasi, yaitu pengaturan waktu, pengaturan jarak, dan penggunaan perisai.

1. Pengaturan Waktu

Seorang pekerja radiasi berada dalam medan radiasi akan menerima dosis radiasi yang besarnya sebanding dengan lamanya pekerja tersebut berada di dalam medan radiasi. Semakin lama seseorang berada ditempat itu, akan semakin besar dosis radiasi yang diterimanya, demikian pula sebaliknya.

2. Pengaturan Jarak

Faktor jarak berkaitan erat dengan fluks (\dot{D}) radiasi. Fluks radiasi pada suatu titik akan berkurang berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik tersebut dengan sumber radiasi.

3. Penggunaan Perisai Radiasi

Untuk penanganan sumber-sumber radiasi dengan aktivitas sangat tinggi yang berorde MBq atau Ci, seringkali pengaturan waktu dan jarak kerja tidak mampu menekan penerimaan dosis oleh pekerja dibawah nilai batas dosis yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, dalam penanganan sumber- sumber beraktivitas tinggi diperlukan perisai radiasi. Sifat dari bahan perisai radiasi ini harus mampu menyerap energi radiasi (untuk sinar- α dan neutron) dan dapat melemahkan intensitas radiasi (untuk sinar-X dan sinar- β). Mengingat sifat serap bahan perisai terhadap berbagai jenis dan energi radiasi. berbeda- bedam maka jumlah dan jenis bahan penahan radiasi yang diperlukan bergantung pada jenis dan energi radiasi yang dipancarkan sumber.

Proteksi Terhadap Sumber Intrenal

Proteksi terhadap sumber internal adalah merupakan upaya pencegahan atau memperkacil jumlah pemasukan bahan radioaktif ke dalam tubuh manusia. Jika zat radioaktif berada dalam keadaan tidak terbungkus rapat, maka zat radioaktif tersebut mempunyai potensi untuk berperan sebagai sumber internal. Zat radioaktif dalam jumlah yang sangat kecil sekalipun, jika dilihat dari sudut bahaya eksternalnya dapat diabaikan, dapat memberikan penyinaran internal dengan nilai dosis yang sangat besar pada organ tubuh di mana zat radioaktif itu mengendap di dalamnya. Oleh karena itu, penyinaran dari sumber internal perlu mendapat perhatian yang serius karena potensi bahaya yang dapat ditimbulkannya cukup besar.

Pada permulaan perang Dunia I sampai kira-kira tahun 1930, banyak ditemukan penderita gangguan kesehatan akibat penyinaran radiasi internal dari pengobatan dengan sumber radioaktif radium. Gangguan serupa ditemukan pula pada para ahli kimia radium, mereka banyak mengalami penderitaan *aplastik anemia*, tumor pada *paranasal sinus* dan *osteomyelitis* pada gigi serta struktur tulang lainnya. Diantara mereka adapula yang mengalami kematian karena menderita *sarkoma osteotik*. Terjadinya gangguan kesehatan akibat radiasi internal disebabkan zat radioaktif masuk ke dalam tubuh melalui jalur pernapasan, pencernaan, dan penyerapan langsung melalui kulit yang terluka. Apabila terjadi pemasukan zat radioaktif ke dalam tubuh manusia, maka zat radioaktif tersebut dapat mengendap pada organ kritis tertentu sehingga akan memberikan energi radiasi pada organ yang mengikatnya. Proses penyinaran dapat berlangsung terus menerus selama sumber radiasi masuk berada di dalam organ. Sebagai konsekuensinya, organ yang terkena kontaminasi radiasi internal akan terus menerus mengalami penyinaran internal meskipun orang tersebut telah meninggalkan kontaminasi, tempat yang menyebabkan terjadinya kontaminasi.

Berbeda dengan penyinaran dari sumber eksternal, dimana penerimaan dosisnya akan berakhir jika orang tersebut meninggalkan sumber radiasi dihilangkan. Proses penyinaran oleh sumber internal dapat berlangsung dalam waktu beberapa tahun terus menerus, atau hanya beberapa saat saja, bergantung pada jenis zat radioaktif yang terikat, organ kritis yang mengikatnya, proses metabolisme serta laju peluruhan sehingga sumber internal itu habis atau terlepas dari organ dan dikeluarkan dari dalam tubuh.

Proteksi radiasi terhadap sumber internal dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Pengungkungan

Pengungkungan zat radioaktif dilakukan sedemikian rupa sehingga zat radioaktif tersebut tidak tersebar ke lingkungan. atau sumber radiasinya.

2. Pemantauan

Apabila dipastikan telah terjadi pelepasan zat radioaktif ke lingkungan, perlu dilakukan pemantauan kadar zat radioaktif baik dalam medium udara, tanah maupun air. Pemantauan kadar zat radioaktif lingkungan dimaksudkan untuk memastikan bahwa tingkat pencemaran radioaktif masih berada dibawah nilai batas yang ditetapkan. Pemantauan juga dilakukan terhadap rantai makanan yang akan dikonsumsi oleh

manusia, termasuk pemantauan air minum dan udara. Perlu juga dilakukan pemantauan zat radioaktif di dalam tubuh manusia untuk memperkirakan jumlah penerimaan dosis oleh personel dari sumber internal.

3. *Pakaian Pelindung (tameng)*

Filosofi proteksi radiasi dimaksudkan untuk mengupayakan agar paparan radiasi terhadap pekerja berada di bawah batas nilai batas maksimum yang diizinkan. Oleh sebab itu, dalam setiap penanganan sumber radiasi terbuka, pekerja radiasi memerlukan perlengkapan proteksi radiasi berupa pakaian pelindung yang digunakan secara terbatas hanya pada daerah kontaminasi. Pakaian pelindung tersebut berupa jas lab, sarung tangan, sepatu atau pembungkus sepatu, dan lain-lain.

4. *Pelindung Pernapasan*

Jika pekerja radiasi diperkirakan akan menerima paparan internal dari gas radioaktif yang kadarnya di dalam udara sangat tinggi, maka masker untuk melindungi pernapasan harus dikenakan oleh pekerja tersebut selama menjalankan tugasnya. Terdapat dua jenis alat pelindung pernapasan untuk tujuan proteksi radiasi, yaitu *respirator jenis filter* dan *masker seluruh muka*. Pentingnya pelindung pernapasan karena zat radioaktif dalam bentuk debu merupakan sumber internal yang sangat berbahaya karena sebagian besar partikel tersebut akan mengendap di dalam paru-paru. Zat radioaktif dalam bentuk aerosol di udara dapat masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur pernapasan. Sebanyak 25% zat radioaktif tersebut akan tinggal pada bagian bawah dari saluran pencernaan yang selanjutnya masuk ke dalam aliran darah. Sebanyak 50% akan tinggal dalam saluran pernapasan pada bagian teratas dan selebihnya tertelan.

C. Penutup

Unsur-unsur radioaktif atau radionuklida yang ada di lingkungan dapat dikelompokkan ke dalam dua golongan besar, yaitu radionuklida alam dan radionuklida buatan yang keduanya dapat berperan sebagai sumber radiasi alam atau lingkungan. Sumber-sumber radiasi lingkungan baik yang alamiah maupun buatan manusia dapat berperan sebagai sumber radiasi pada tubuh manusia. Radiasi yang diterima tubuh manusia dapat berasal dari sumber eksternal maupun internal. Sumber eksternal adalah sumber radiasi yang berada di luar tubuh manusia, sedangkan sumber internal adalah sumber radiasi yang berada di dalam tubuh manusia.

Dosis radiasi dari sumber eksternal (sinar kosmis) yang diterima penduduk bumi bergantung pada letak ketinggian seseorang bertempat tinggal. Dimana Dosis radiasi kosmis diatas permukaan laut sebesar 0,5 mSv/tahun. Dosis tersebut menjadi dua kali lipat setiap kenaikan posisi 1,5 km, diperkirakan pula akan terjadi penambahan 20 kali lipat pada ketinggian (4 - 12) km. Sedangkan dosis radiasi dari sumber radiasi internal (^3H (tritium, T), ^7Be , ^{14}C , ^{40}K , ^{238}U), untuk Tritium memberikan sumbangan terimaan dosis oleh manusia sebesar 0,01 pSv/tahun, unsur ^7Be sekitar 50 Bq setiap tahun masuk ke sumbangan dalam tubuh manusia dengan memberikan penerimaan dosis bagi tubuh

manusia sebesar 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Potasium (^{40}K) yang banyak terdapat dalam sayuran hijau masuk ke dalam tubuh manusia melalui jalur makanan dengan kadar sekitar 60 Bq/kg-berat badan dosis radiasi sebesar 0,2 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Sementara ^{14}C memberikan dosis radiasi pada manusia rata-rata sebesar 12 $\mu\text{Sv}/\text{tahun}$. Untuk ^{238}U (^{222}Rn), Konsensus Internasional menyepakati dosis radiasi maksimum (MPD) bagi pekerja radiasi di ladang reaktor nuklir sebesar 5 rem (50 mSv) per tahun pada organ indung telur dan lensa mata, 30 rem (300 mSv) per tahun pada kulit, tulang, kelenjar gondok, dan 75 rem (750 mSv) per tahun pada kaki, lengan dan tangan. Sementara bagi masyarakat umum, dosis radiasi maksimum tidak boleh melebihi 1/10 dari pekerja radiasi. Dosis radiasi total yang diterima oleh masyarakat yang paling besar sumbangan radiasinya adalah 80% dari alam, 16% aplikasi medik, dan 4% dari radiasi lainnya.

Untuk menghindari terjadi paparan radiasi radioaktif yang berasal dari sumber radiasi eksternal maupun internal, maka perlu dilakukan proteksi radiasi terhadap radiasi sumber eksternal maupun internal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi M, 2000, Dasar-Dasar Proteksi Radiasi. Rineka Cipta Jakarta,
- Anonim, 1999, Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi nomor : 01/Ka-BAPETEN/V-1999, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)
- Arya A.P, 1966, Fundamentals of Nuclear Physics. West Virginia University. Boston
- BAPETEN, 1999, Himpunan Peraturan Kepala Bidang Instalasi dan Bahan Nuklir. Seri Peraturan Kepala. Jakarta, www.bapeten.go.id/index.php
- Budiyono, 1998, Pengaruh Vac Off Gas Terhadap Tingkat Kontaminasi Udara Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Di PTLR BATAN Serpong. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah VII. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN. Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi-RISTEK
- Erdtman G dan Soyka W, 1989, The Gamma Rays of The Radionuclides, New York
- Gloria D, Tusafariah F, dan Ridwan A.A, 2008, TENORM Pada Industri Fosfat dan Potensi Bahaya Bagi Kesehatan Masyarakat. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung, 17-18 November 2008
- Krane K, 1987, Introductory Nuclear Physics. Oregon State University
- Muradi,dkk, 2009, Pemantauan Radioaktivitas Udara Ruang Kerja IEBE Saat Sistem Ventelasi Udara Tidak Beroperasi. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN Serpong. Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 5 November 2009

- Sofyan H, 1998, Mewaspada Gas Radon. Pusat Standarisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi-BATAN. <http://www.batan.go.id/ptkmr/BAlara/pdf>
- Sofyan H dan Akhadi M ,2004, Radionuklida Primordial untuk Penanggalan Geologi dan Arkeologi. Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir-BATAN
- Soedjo, P, 2001, Azas-Azas Ilmu Fisika Jilid 4 Fisika Modern, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Trijoko, S, 2001, Efek Biologi Radiasi Pengion Dosis Rendah, Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN, Jakarta
- Wardhana, W.A. , 2007, Teknologi Nuklir: Proteksi Radiasi dan Aplikasinya. Andi Yogyakarta, h. 155
- http://www.batan.go.id/ptkmr/BAlara2004_06212_085.pdf