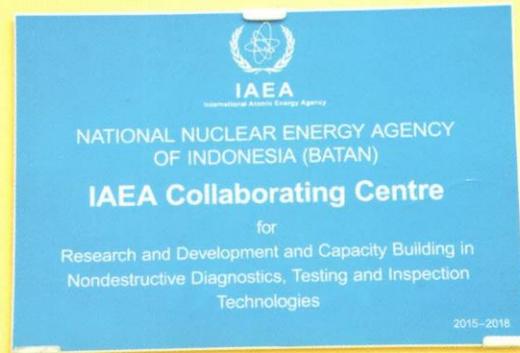


No. ISSN 0126-3293 TAHUN XXXVII No. 1 Maret 2016

BULETIN BATAN

NUKLIR MENGABDI KEMANUSIAAN



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

**PENGARAH/PENANGGUNG
JAWAB:**

Deputi Bidang Pendayagunaan
Teknologi Nuklir
Kepala Pusat Diseminasi dan
Kemitraan

REDAKTUR:

Drs. Heru Santosa, MT

REDAKTUR PELAKSANA:

B.I. Wahyudi, S.Sos

EDITOR:

Drs. Muchlis Akhadi
Eko Purwito Hidayat, M.Si

PENYUSUN/TATA LETAK:

Agus Rial

TATA USAHA:

Astu Normasari, S.Si
Abdul Rahman
Trisini Widiawati

ALAMAT REDAKSI:

Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No.49
Gd. Perasten, Jakarta Selatan 12440
Kotak Pos 4390, Jakarta 12403

Telp.: (021) 7659401-02
Faks.: (021) 75913833

<http://www.batan.go.id>
e-mail: pdk@batan.go.id

1. Kata Pengantar iii
2. Aspek Lingkungan Pada Sistem Proteksi
Radiasi
Eri Hiswara - PTKMR 1
3. Metode Isotop Alam Untuk Identifikasi
Fenomena Intrusi Air Laut
Satrio - PAIR 11
4. Pengaruh Konsentrasi Larutan Pengembang
Terhadap Densitas Film Radiografi
Djoli Soembogo, dkk - PAIR 18
5. Radiografi X-Ray Pada Las Pelat
Djoli Soembogo - PAIR 24
6. Analisa Isotop Stabil ^{18}O dan ^2H dari Sampel
Air Dengan Menggunakan Spektroskopi
Absorpsi Laser
E. Ristin Pujiindiyati - PAIR 32
7. Opini Pembangunan PLTN di Indonesia Dalam
Tinjauan Tingkat Penerimaan Masyarakat
Terhadap Iptek Nuklir
Agus Rial (PDK) & Mudjiono (PKSEN) 45

Gambar Sampul:

*IAEA Collaborating Centre untuk Research and
Development and Capacity Building in Nondestructive
Diagnostics yang terletak di Kawasan Nuklir Pasar Jumat*

Karangan dalam Buletin ini dapat dikutip dengan syarat memperoleh izin dari BATAN dan harus menyebutkan sumbernya berikut mengirimkan dua nomor bukti kepada redaksi.

KATA PENGANTAR

Pembaca Buletin BATAN yang budiman,

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan YME karena berkat-Nya, Buletin BATAN Edisi XXXVII No. 1 Maret 2016 masih dapat terbit untuk memenuhi keinginan para pembaca khususnya peneliti BATAN.

Pada edisi ini disajikan enam artikel menarik seperti pengembangan sistem proteksi radiasi yang menerapkan prinsip pembenaran, optimalisasi dan pembatasan dosis, yang memperhitungkan efek yang terjadi pada hewan dan tanaman jika menerima pajanan radiasi. Proteksi radiasi adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk memberikan perlindungan bagi manusia terhadap efek pajanan radiasi yang berbahaya.

Intrusi atau penyusupan air asin ke dalam akuifer air tanah daratan pada dasarnya merupakan proses masuknya air laut di bawah permukaan tanah melalui akuifer di daratan yang umumnya berada di wilayah pantai. Adanya intrusi air laut ke dalam air tanah menyebabkan penurunan kualitas sehingga tidak layak digunakan khususnya untuk kebutuhan air minum. Fenomena intrusi air laut bisa diketahui melalui penelitian menggunakan metode hidrokimia maupun isotop alam, yang diuraikan dalam artikel kedua.

Aplikasi radiografi digital menggunakan sumber radiasi dari isotop secara metode direct belum dikenal luas karena hasil radiografinya tidak bagus dibandingkan aplikasi radiografi digital menggunakan sumber radiasi mesin x-ray. Studi ini mencoba aplikasi radiografi digital menggunakan sumber isotop Co-60 dan menggunakan media *scanner* film positif Epson V700 untuk pendigitalisasian hasil radiografi konvensional film dengan melihat pengaruh konsentrasi larutan pengembang.

Pengaplikasian radiografi x-ray untuk dimanfaatkan di bidang industri seperti las pelat, las pipa, atau las pada bejana tekan. Penelitian ini mencoba pengaplikasian radiografi digital menggunakan sumber x-ray dan menggunakan media *scanner* film positif Epson V700 untuk pendigitalisasian hasil radiografi konvensional film.

Analisa isotop stabil ^{18}O dan ^2H dalam contoh air telah dilakukan dengan peralatan *Isotope Ratio Mass Spectrometry* (IRMS) sejak tahun 1940. Kedua isotop tersebut digunakan dalam studi hidrologi dan lingkungan untuk mengetahui daerah resapan, membedakan sumber air dan interaksi air tanah dengan badan air lainnya.

Ketiga hal tersebut di atas diuraikan dan dijelaskan pada artikel ketiga, atikel keempat, dan atikel kelima.

Artikel terakhir memaparkan tentang hasil jajak pendapat yang telah dilaksanakan dari tahun 2010 hingga 2014 didapatkan bahwa kecenderungan tingkat penerimaan masyarakat terhadap iptek nuklir di Indonesia meningkat.

Semoga bacaan dalam Buletin BATAN ini dapat menambah wawasan pembaca mengenai hasil riset iptek nuklir Indonesia, sehingga diharapkan nantinya bisa dimanfaatkan dalam berbagai kehidupan.

Selamat membaca,

Redaksi

ASPEK LINGKUNGAN PADA SISTEM PROTEKSI RADIASI

Eri Hiswara

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) - BATAN

E-mail: e.hiswara@batan.go.id

ABSTRAK

ASPEK LINGKUNGAN PADA SISTEM PROTEKSI RADIASI. Proteksi radiasi adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk memberikan perlindungan bagi manusia terhadap efek pajanan radiasi yang berbahaya. Untuk mencapai tujuan ini telah dikembangkan sistem proteksi radiasi yang menerapkan prinsip pembenaran, optimisasi dan pembatasan dosis. Selama bertahun-tahun diyakini bahwa dengan menerapkan ketiga prinsip tersebut kepada manusia, semua spesies yang lain tidak berada dalam bahaya. Namun demikian dalam sepuluh tahun terakhir ini timbul kesadaran bahwa banyak kegiatan terkait nuklir dan radiasi oleh manusia modern yang walaupun tidak berbahaya bagi manusia, ternyata membawa dampak bagi lingkungan. Untuk itu maka telah dikembangkan suatu sistem proteksi radiasi lingkungan yang memperhitungkan efek yang terjadi pada hewan dan tanaman jika menerima pajanan radiasi. Lebih jauh, mengingat saat ini dipandang tidak ada lagi bagian bumi yang lingkungannya terisolasi dari populasi manusia, pada tahun-tahun terakhir ini telah dikembangkan pula suatu sistem proteksi radiasi terpadu yang menggabungkan sistem proteksi radiasi manusia dengan sistem proteksi radiasi lingkungan.

Kata kunci: proteksi radiasi, keselamatan lingkungan, sistem proteksi radiasi terpadu

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL ASPECTS IN RADIATION PROTECTION SYSTEM. Radiation protection is a mean to give protection to people from the detrimental effects of exposure to radiation. To achieve this objective a radiation protection system which implements the principles of justification, optimisation and dose limits has been developed. For years it has been believed that by implementing those three principles to people, all other species are not put at risk. In the last decade, however, it is realized that many modern human activities related to nuclear or radiation which even though not bring a dangerous situation to people, bring about an impact to the environment. For this purpose it has been developed a system of radiation protection for non-human environment by considering effects that may happen to animals and plants if they receive radiation exposures. Moreover, since at present there is no part of earth considered to be isolated from human population, in recent years it has also been developed an integrated

radiation protection system which combine both human and environment radiation protection systems.

Keywords: radiation protection, environmental safety, integrated radiation protection system

PENDAHULUAN

Bahan nuklir, zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya merupakan bahan yang banyak membawa manfaat dan berperan penting dalam upaya meningkatkan mutu hidup manusia. Selain bahan nuklir yang dapat digunakan untuk memproduksi energi listrik, berbagai zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya telah dimanfaatkan di berbagai bidang terutama medik, industri dan pertanian.

Selain membawa manfaat yang sangat besar, diketahui pula bahwa penggunaan ketiga bahan ini (yang untuk memudahkan selanjutnya disebut hanya sebagai radiasi) memiliki efek yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Efek radiasi dapat berupa deterministik maupun stokastik. Efek deterministik merupakan efek yang dapat terjadi pada suatu organ atau jaringan tubuh tertentu yang menerima radiasi dengan dosis tinggi, sementara efek stokastik merupakan efek akibat penerimaan radiasi dosis rendah di seluruh tubuh yang baru diderita oleh orang yang menerima dosis setelah selang waktu tertentu, atau oleh turunannya. Dengan adanya kedua jenis efek yang berbahaya ini maka setiap aplikasi radiasi harus diatur dan diawasi secara ketat oleh instansi yang diberi tanggung jawab untuk melaksanakan pengawasan tersebut.

Upaya pemahaman tentang fenomena yang terjadi jika radiasi berinteraksi dengan jaringan tubuh ini termasuk dalam cabang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) proteksi radiasi. Secara umum, proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari efek bahaya radiasi.

Proteksi radiasi merupakan iptek yang pada awalnya dikembangkan dengan pendekatan moral antroposentrik. Dengan pendekatan ini maka umat manusia merupakan obyek utama atau bahkan satu-satunya yang perlu diberikan perlindungan dari efek radiasi yang berbahaya tersebut. Komisi Internasional untuk Proteksi Radiologik (ICRP, *International Commission on Radiological Protection*), suatu organisasi internasional yang bekerja untuk memberikan rekomendasi dan pedoman mengenai proteksi terhadap risiko yang berkaitan dengan radiasi pengion, merupakan salah satu institusi yang menggunakan pendekatan ini dalam rekomendasinya. Pada paragraf 14 dari rekomendasi ICRP tahun 1977, misalnya, dinyatakan bahwa "... tingkat keselamatan yang diperlukan untuk proteksi semua individu manusia dipercaya cukup untuk

radiation protection system which combine both human and environment radiation protection systems.

Keywords: radiation protection, environmental safety, integrated radiation protection system

PENDAHULUAN

Bahan nuklir, zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya merupakan bahan yang banyak membawa manfaat dan berperan penting dalam upaya meningkatkan mutu hidup manusia. Selain bahan nuklir yang dapat digunakan untuk memproduksi energi listrik, berbagai zat radioaktif dan atau sumber radiasi lainnya telah dimanfaatkan di berbagai bidang terutama medik, industri dan pertanian.

Selain membawa manfaat yang sangat besar, diketahui pula bahwa penggunaan ketiga bahan ini (yang untuk memudahkan selanjutnya disebut hanya sebagai radiasi) memiliki efek yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Efek radiasi dapat berupa deterministik maupun stokastik. Efek deterministik merupakan efek yang dapat terjadi pada suatu organ atau jaringan tubuh tertentu yang menerima radiasi dengan dosis tinggi, sementara efek stokastik merupakan efek akibat penerimaan radiasi dosis rendah di seluruh tubuh yang baru diderita oleh orang yang menerima dosis setelah selang waktu tertentu, atau oleh turunannya. Dengan adanya kedua jenis efek yang berbahaya ini maka setiap aplikasi radiasi harus diatur dan diawasi secara ketat oleh instansi yang diberi tanggung jawab untuk melaksanakan pengawasan tersebut.

Upaya pemahaman tentang fenomena yang terjadi jika radiasi berinteraksi dengan jaringan tubuh ini termasuk dalam cabang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) proteksi radiasi. Secara umum, proteksi radiasi adalah tindakan yang dilakukan untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari efek bahaya radiasi.

Proteksi radiasi merupakan iptek yang pada awalnya dikembangkan dengan pendekatan moral antroposentrik. Dengan pendekatan ini maka umat manusia merupakan obyek utama atau bahkan satu-satunya yang perlu diberikan perlindungan dari efek radiasi yang berbahaya tersebut. Komisi Internasional untuk Proteksi Radiologik (ICRP, *International Commission on Radiological Protection*), suatu organisasi internasional yang bekerja untuk memberikan rekomendasi dan pedoman mengenai proteksi terhadap risiko yang berkaitan dengan radiasi pengion, merupakan salah satu institusi yang menggunakan pendekatan ini dalam rekomendasinya. Pada paragraf 14 dari rekomendasi ICRP tahun 1977, misalnya, dinyatakan bahwa "... tingkat keselamatan yang diperlukan untuk proteksi semua individu manusia dipercaya cukup untuk

komponen kehidupan yang ada. Dalam kaitannya dengan sistem proteksi radiasi, pendekatan ekosentrik meminta agar sistem tersebut dapat memadukan proteksi manusia dengan proteksi lingkungan.

Sebelum menyusun suatu sistem proteksi yang terpadu, sudah tentu perlu ditetapkan terlebih dahulu apa yang dimaksud dengan proteksi lingkungan. Lebih jauh lagi, apa yang dimaksud dengan lingkungan itu sendiri. Selanjutnya, apa yang ingin diproteksi, bagaimana mengkaji efek dan memperkirakan risikonya, bagaimana pengaturan proteksinya, dan juga bagaimana memadukan sistem proteksi radiologik lingkungan ini dengan sistem proteksi radiologik manusia yang telah jauh lebih mapan [4]. Setelah sistem proteksi lingkungan ini ditetapkan, barulah sistem proteksi terpadu dapat dikembangkan dengan baik.

LINGKUNGAN DAN PROTEKSI LINGKUNGAN

Pada dasarnya lingkungan dapat diartikan secara sempit, tapi juga bisa diartikan secara luas. Jika lingkungan dibatasi hanya yang terkait dengan habitat manusia, maka sistem proteksi radiasi manusia juga, jika dilaksanakan dengan benar, telah memberikan proteksi lingkungan. Dengan sistem proteksi manusia, lingkungan dipantau untuk menjamin bahwa masyarakat tidak menerima dosis radiasi dari lingkungan. Untuk maksud ini, misalnya, badan pengawas radiasi atau nuklir dapat menetapkan batas buangan zat radioaktif ke lingkungan.

Namun demikian, jika lingkungan didefinisikan lebih luas dari sekedar manusia dan lingkungan terdekatnya, maka sistem proteksi manusia tidak dapat memberikan proteksi lingkungan yang diinginkan. Beberapa contoh yang dikemukakan sebelumnya, seperti pembuangan limbah nuklir ke laut dalam, memperlihatkan bahwa lingkungan mungkin saja tercemar tanpa ada manusia yang terkena efeknya.

Dalam hal lingkungan yang ingin diproteksi, isu ini juga cukup pelik. Konvensi PBB tentang Hukum Laut, misalnya, menyatakan bahwa setiap negara harus “... melakukan semua tindakan yang perlu untuk mencegah, mengurangi dan mengendalikan pencemaran lingkungan laut dari semua sumber” [5]. Di bagian lain dari Konvensi ini dinyatakan bahwa yang dimaksud dengan pencemaran didefinisikan sebagai sesuatu yang dapat menyebabkan bahaya. Namun, apa itu bahaya? Apakah adanya suatu bahan di lingkungan, ataukah jumlah bahan tersebut yang dapat, misalnya, membunuh ikan yang hidup di laut tertentu?

Dalam lingkungan yang lebih luas, dapat pula dipertanyakan apakah yang akan diproteksi itu individu flora atau fauna tertentu, atau populasinya, atau ekosistem secara keseluruhan yang mengandung flora dan fauna tersebut?

Dalam hal pengaturan proteksi radiologik lingkungan, sifat dari efek secara global, regional maupun lokal perlu dipertimbangkan. Untuk efek yang melintasi batas negara melalui pergerakan radioaktif lewat udara atau lautan seperti akibat dari percobaan senjata nuklir atau kecelakaan Chernobyl, pengaturan dengan konsensus secara internasional mutlak diperlukan. Namun demikian, untuk kecelakaan yang efeknya terbatas hanya pada dua atau tiga negara, konsensus regional tampaknya dapat dilakukan. Jika efeknya sangat terbatas hanya pada satu negara, seperti dari penyimpanan limbah radioaktif di suatu lokasi tertentu, konsensus tampaknya juga bisa dilakukan secara nasional. Dengan demikian, sistem proteksi radiologik lingkungan tampaknya harus cukup fleksibel untuk dapat mengadaptasi keadaan lokal, regional atau global, tanpa melupakan keragaman ekosistem yang ada.

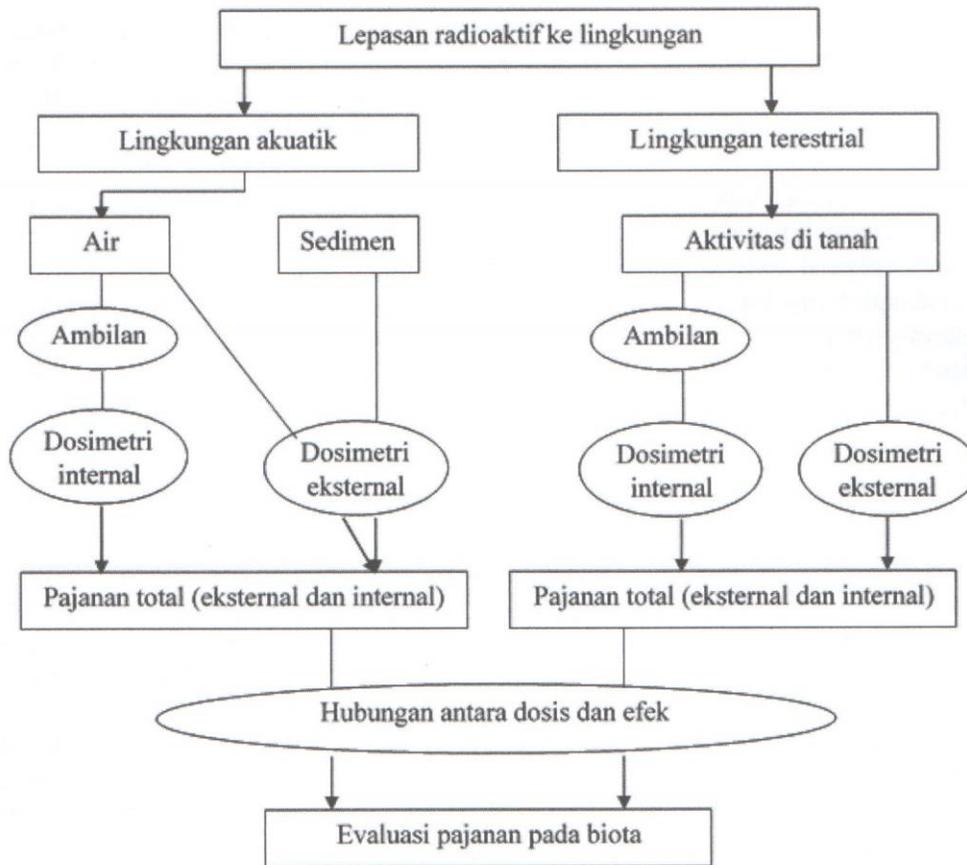
STUDI EFEK RADIASI PADA LINGKUNGAN

Pada tahun-tahun terakhir ini studi efek radiasi pada lingkungan telah banyak dilakukan. Studi difokuskan pada pengembangan metodologi dalam mengkaji dan mengevaluasi pajanan pada flora dan fauna yang terdapat pada lingkungan akuatik dan terestrial, dan melalui tahapan seperti yang diberikan pada Gambar 1.

Pada tahun 2005, ICRP membentuk komite yang khusus membahas isu proteksi lingkungan dengan tujuan untuk menyusun suatu kerangka yang mengkaji dan mengevaluasi pajanan pada biota. Komite memutuskan untuk mengadopsi pendekatan yang dibuat oleh dua buah proyek Komisi Eropa, FASSET dan ERICA, untuk melakukan kajian dan evaluasi tersebut.

Mengingat sangat beragamnya komponen lingkungan, akan mustahil untuk mempertimbangkan semua komponen lingkungan tersebut dalam pengkajian dan evaluasi. Untuk itu maka telah diambil suatu set 12 organisme hewan dan tanaman acuan untuk mewakili ekosistem terestrial, air tawar dan air laut [6].

Isu penting dalam pengkajian proteksi radiasi pada lingkungan adalah kaitan pajanan dengan efek yang terjadi pada komponen lingkungan. Jika tujuan utama pada sistem proteksi radiasi manusia adalah mencegah terjadinya efek deterministik dan membatasi kemungkinan terjadinya efek stokastik, maka ICRP telah menyatakan bahwa tujuan proteksi radiasi lingkungan adalah konservasi spesies, dan melindungi habitat, komunitas, dan ekosistem [7].



Gambar 1. Tahapan pada kajian dan evaluasi pajanan dan biota di lingkungan akuatik dan terestrial.

Untuk tujuan ini ICRP menggunakan pendekatan hewan dan tanaman acuan sebagai dasar sistematis untuk menghubungkan pajanan radiasi dengan dosis, dan dosis ke berbagai efek yang mungkin timbul, seperti kematian awal, morbiditas, pengurangan kapasitas reproduksi, atau kerusakan kromosom baik dari efek stokastik maupun deterministik. Dalam memilih hewan dan tanaman acuan ini, ICRP menggunakan beberapa kriteria, antara lain informasi radiobiologi dari yang dipilih telah tersedia cukup banyak, merupakan wakil tipikal dari ekosistem tertentu, paling mungkin menerima radiasi, efek pada setiap organisme individu akibat pajanan radiasi dapat diidentifikasi, dan pembuat keputusan serta masyarakat umum telah mengenalnya dalam bahasa sehari-hari [6]. Hewan dan tanaman acuan yang diambil ICRP adalah kijang (mewakili mamalia terestrial besar), tikus (mamalia terestrial kecil), bebek (burung akuatik), katak (amfibi), trout (ikan air tawar), ikan pari (ikan laut), kumbang (serangga terestrial), kepiting (hewan air berkulit keras), cacing tanah (annelid terestrial), pinus (tanaman terestrial besar), rumput liar (tanaman terestrial kecil) dan rumput laut coklat (rumput laut).

Berdasarkan data hubungan pajanan dengan efek yang ada, ICRP telah mengusulkan suatu Tingkat Acuan Tertimbang Turunan (DCRL, *derived consideration reference levels*) untuk 12 hewan dan tanaman acuan di atas (lihat Tabel 1). Nilai DCRL dipilih sebagai rentang dosis yang dalam berbagai studi tidak menunjukkan adanya efek yang berbahaya bagi biota tersebut.

DCRL pada dasarnya juga bukan nilai batas dosis, namun merupakan suatu zona dosis yang memerlukan evaluasi lebih rinci terhadap situasi yang terjadi sekiranya dosis tersebut dicapai. Evaluasi yang dilakukan antara lain adalah jenis situasi pajanan (terencana, yang ada atau kedaruratan), ukuran daerah yang terkena, periode waktu pajanan, fraksi populasi spesies yang tersinar pada tingkat dosis tersebut, kelayakan basis data yang digunakan untuk perkiraan dosis, dan tingkat kehati-hatian yang diperlukan untuk pengkajian [8].

Tabel 1. Tingkat Acuan Tertimbang Turunan (DCRL) untuk biota (hewan dan tanaman) acuan.

| Biota acuan | DCRL (mGy/hari) | Biota acuan | DCRL (mGy/hari) |
|--------------|-----------------|--------------------|-----------------|
| Kijang | 0,1 – 1 | Kumbang | 10 – 100 |
| Tikus | 0,1 – 1 | Kepiting | 10 – 100 |
| Bebek | 0,1 – 1 | Cacing tanah | 10 – 100 |
| Katak | 1 – 10 | Pinus | 0,1 – 1 |
| <i>Trout</i> | 1 – 10 | Rumput liar | 1 – 10 |
| Ikan pari | 1 – 10 | Rumput laut coklat | 10 – 100 |

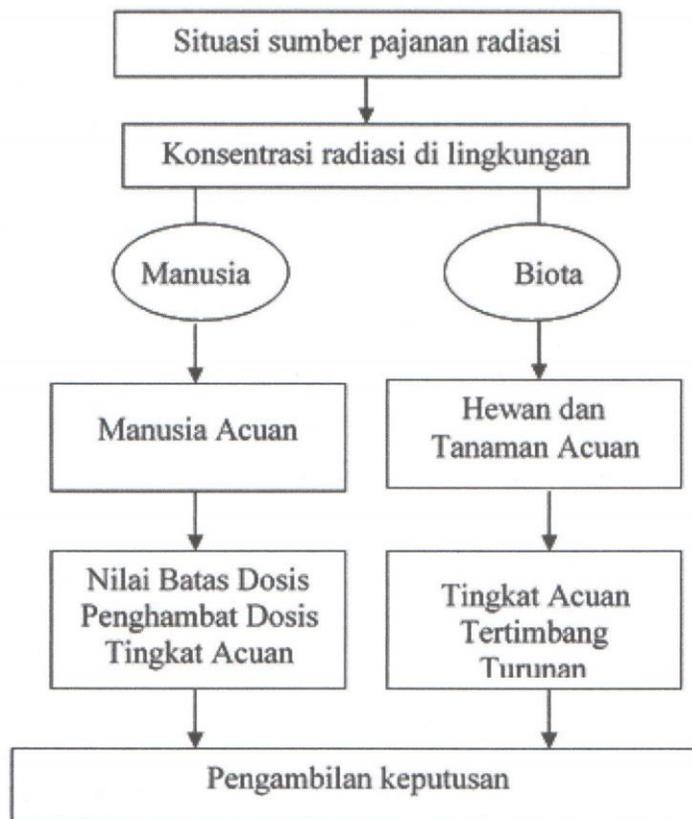
PROTEKSI RADIASI TERPADU

Dalam perkembangan lebih lanjut disadari bahwa proteksi radiasi manusia tidak dapat dipisahkan dari proteksi radiasi lingkungan, karena sebenarnya keduanya merupakan komponen penghuni bumi yang bergantung satu sama lain. Untuk itu, sambil terus mengembangkan sistem proteksi radiasi lingkungan, para ahli juga mulai mengembangkan suatu sistem proteksi radiasi terpadu yang menggabungkan kedua sistem proteksi radiasi manusia dan lingkungan ini.

Sistem proteksi radiasi terpadu pertama kali diusulkan oleh Penreath [9]. Menurut Penreath, tujuan proteksi radiasi terpadu adalah menjaga kesehatan manusia dengan mencegah terjadinya efek deterministik dan membatasi efek stokastik pada individu dan meminimalkannya pada populasi, serta menjaga lingkungan dengan mencegah atau mengurangi frekuensi efek yang mungkin dapat menyebabkan terjadinya kematian awal atau mengurangi keberhasilan reproduksi pada individu fauna dan flora tanpa memberikan dampak pada

pelestarian spesies, pemeliharaan keragaman hayati, atau kesehatan dan status ekosistem.

Sistem proteksi radiologik terpadu secara umum dengan demikian harus mengembangkan sistem proteksi radiologik lingkungan dengan metodologi dan dasar ilmiah yang sama dengan sistem proteksi radiologik manusia. Pendekatan dalam sistem proteksi radiologik terpadu ini dapat dilihat pada Gambar 2 [6].



Gambar 2. Skema untuk pengkajian dan evaluasi pajanan pada manusia dan biota.

Seperti terlihat pada Gambar 2, untuk semua sumber pajanan radiasi, pengkajian pajanan dan evaluasi pajanan pada manusia dan biota diawali dengan tingkat konsentrasi radiasi di lingkungan. Pajanan masing-masing dihitung untuk manusia acuan dan hewan dan tanaman acuan. Keputusan yang akan diambil terkait pajanan manusia ditentukan oleh perbandingannya dengan nilai batas dosis dan penghambat dosis untuk situasi pajanan terencana dan yang ada, dan dengan tingkat acuan untuk situasi pajanan kedaruratan. Sedang pajanan pada biota dapat dievaluasi dengan membandingkannya dengan DCRL, dengan mempertimbangkan kondisi spesifik situasi pajanan.

Dalam kaitan di atas, situasi pajanan terencana adalah situasi pajanan yang melibatkan penggunaan sumber radiasi dengan sengaja, situasi pajanan yang ada adalah situasi pajanan yang melibatkan pajanan berkepanjangan setelah terjadinya kecelakaan, sementara situasi pajanan kedaruratan adalah situasi pajanan yang memerlukan tindakan segera untuk menghindari atau mengurangi konsekuensi yang tidak diinginkan [7].

Jika lepasan radiasi ke lingkungan yang dapat menimbulkan pajanan pada manusia masih memenuhi nilai batas dosis, pada umumnya tidak ada risiko pajanan bagi biota yang ada di lokasi yang sama. Namun demikian, jika pajanan pada biota terjadi pada daerah yang tidak ada populasi manusianya, tidak berarti dampak radiologik pada biota ini dapat diisolasi. Di dunia yang memiliki hampir tujuh milyar manusia ini, lingkungan yang tidak berpopulasi akan selalu menjadi bagian dari habitat manusia – atau akan menjadi bagian habitat manusia dalam waktu mendatang, sehingga tetap harus diperhitungkan sebagai sumber aktual atau potensi sumber bagi pajanan manusia.

KESIMPULAN

Proteksi radiasi lingkungan merupakan topik yang masih akan terus dibahas karena pemahaman mengenai efek radiasi pada spesies non-manusia masih sangat terbatas. Untuk mendukung pemahaman ini telah dikembangkan metodologi untuk memperkirakan pajanan pada hewan dan tanaman dan mengevaluasi pajanan tersebut dalam kaitannya dengan efek yang dapat terjadi. Tingkat Acuan Tertimbang Turunan (DCRL) yang diusulkan ICRP merupakan salah satu dasar untuk dapat mengevaluasi lebih rinci terhadap situasi yang terjadi sekiranya dosis tersebut dicapai. Selain itu, perkembangan terakhir menunjukkan perlunya disusun suatu sistem proteksi radiasi terpadu yang menggabungkan sistem proteksi radiasi manusia dengan sistem proteksi radiasi lingkungan, mengingat saat ini dipandang tidak ada lagi bagian bumi yang lingkungannya terisolasi dari populasi manusia.

DAFTAR PUSTAKA

1. ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
2. ICRP, 1991. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
3. ICRP, 2003. A Framework for Assessing the Impact of Ionizing Radiation on Non-human Species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33(3).
4. OECD/NEA. Radiological Protection of the Environment. ISBN 92-64-18497-X. OECD, Paris (2003).

5. Konvensi PBB tentang Hukum Laut (UNCLOS, *United Nations Convention on the Laws of the Sea*).
6. ICRP, 2008. Environmental Protection: The Concept and Use of Reference Animals and Plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4-6).
7. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
8. PROEHL, G, TELLERIA, D, LOUVAT, D, The activities of the IAEA in developing standards on radiological protection of the environment, Proc. Third European IRPA Congress, June 14-16 2010, Helsinki, Finland.
9. J. Penreath, 2002. Radiation protection of people and the environment: developing a common approach. J.Radiol. Prot. **22(1)** pp.45-56.