

Buletin

ALFA

- **Memahami besaran dan satuan dalam proteksi radiasi**
- **Potensi vitamin sebagai radioprotektor**
- **Terapi kanker otak dengan partikel alfa dari boron**
- **Aplikasi isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ untuk menentukan asal-usul Air Panas Palimanan – Cirebon**
- **Jalan panjang menuju penemuan sinar-X**
- **Proteksi dan keselamatan radiasi dalam desain instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka**

**Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi
Badan Tenaga Nuklir Nasional**



PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN
METROLOGI RADIASI
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

ISSN 1410 - 4652

Buletin Alara

Volume 18 Nomor 1, Agustus 2016

TIM REDAKSI

Penanggung Jawab

Kepala PTKMR

Pemimpin Redaksi

Dr. Mukh Syaifudin

Penyunting/Editor & Pelaksana

Dr. Heny Suseno
Drs. Iin Kurnia, Ph. D.
Drs. Hasnel Sofyan, M.Eng
Drs. Gatot Wurdianto, M.Eng
dr. B Okky Kadharusman, Sp.PD
Dr. Johannes R. Dumais

Sekretariat

Setyo Rini, SE
Salimun

Alamat Redaksi/Penerbit :

PTKMR - BATAN

⇒ Jl. Lebak Bulus Raya No. 49
Jakarta Selatan (12440)
Tel. (021) 7513906, 7659512 ;
Fax. (021) 7657950
⇒ PO.Box 7043 JKSKL,
Jakarta Selatan (12070)

**e-mail : ptkmr@batan.go.id
alara_batan@yahoo.com**

Dari Redaksi

Sistem proteksi radiasi ini dikembangkan pertama kali pada tahun 1977 dan mengalami perkembangan setiap kali ICRP mengeluarkan rekomendasi terbarunya hingga rekomendasi yang diterbitkan tahun 2014. Dalam sistem proteksi radiasi yang berlaku saat ini, jenis situasi pajanan (*exposure situation*) dibedakan atas situasi pajanan terencana, situasi pajanan darurat dan situasi pajanan yang ada. Situasi pajanan terencana adalah situasi pajanan yang melibatkan penggunaan sumber radiasi dengan sengaja, situasi pajanan darurat adalah situasi pajanan yang memerlukan tindakan segera untuk menghindari atau mengurangi konsekuensi yang tidak diinginkan, sementara situasi pajanan yang ada adalah situasi pajanan yang telah ada saat keputusan untuk mengendalikannya dibuat, termasuk situasi pajanan berkepanjangan setelah terjadinya kecelakaan.

Selain memahami besaran dan satuan dalam proteksi radiasi, aplikasi proteksi dan keselamatan radiasi dalam desain instalasi produksi radioisotop dan radiofarmaka. Sementara itu dalam bidang kesehatan akan dibahas potensi vitamin sebagai radioprotektor dan terapi kanker otak dengan partikel alfa dari boron. Dan tidak ketinggalan aplikasi isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ untuk menentukan asal-usul Air Panas Palimanan - Cirebon serta jalan panjang menuju penemuan sinar-X.

Akhirnya disampaikan ucapan selamat membaca, semoga apa yang tersaji dalam Buletin ini dapat menambah wawasan yang lebih luas mengenai ilmu dan teknologi nuklir serta menggugah minat para pembaca yang budiman untuk menekuni iptek ini. Jika ada kritik dan saran yang menyangkut tulisan dan redaksional untuk meningkatkan mutu Buletin Alara, akan kami terima dengan senang hati.

redaksi

Buletin ALARA terbit pertama kali pada Bulan Agustus 1997 dan dengan frekuensi terbit 3 kali dalam setahun (Agustus, Desember dan April) ini diharapkan dapat menjadi salah satu sarana informasi, komunikasi dan diskusi di antara para peneliti dan pemerhati masalah keselamatan radiasi dan lingkungan di Indonesia.



IPTEK ILMIAH POPULER

- 1 – 5** Memahami besaran dan satuan dalam proteksi radiasi,
Eri Hiswara
- 7 – 15** Potensi vitamin sebagai radioprotektor,
Darlina
- 17 – 23** Terapi kanker otak dengan partikel alfa dari boron
Kadarisman
- 27 – 30** Aplikasi isotop stabil $\delta^{18}\text{O}$ dan $\delta^2\text{H}$ untuk menentukan asal-usul Air Panas
Palimanan – Cirebon
Satrio dan Nurfadhlini

INFORMASI IPTEK

- 31 – 40** Jalan panjang menuju penemuan sinar-X
Mukhlis Akhadi
- 41 – 49** Proteksi dan keselamatan radiasi dalam desain instalasi produksi radioisotop
dan radiofarmaka
Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS

LAIN – LAIN

- 6** Tata cara penulisan naskah/makalah
16 Kontak Pemerhati

Tim Redaksi menerima naskah dan makalah ilmiah semi populer yang berkaitan dengan *Keselamatan radiasi dan keselamatan lingkungan dalam pemanfaatan iptek nuklir untuk kesejahteraan masyarakat*. Sesuai dengan tujuan penerbitan buletin, Tim Redaksi berhak untuk melakukan *editing* atas naskah/makalah yang masuk tanpa mengurangi makna isi. Sangat dihargai apabila pengiriman naskah/makalah disertai dengan CD-nya.

MEMAHAMI BESARAN DAN SATUAN DALAM PROTEKSI RADIASI

Eri Hiswara

Bidang Keselamatan Kerja dan Dosimetri PTKMR – BATAN

- Jalan Lebak Bulus Raya No.49, Jakarta 12440
Kotak Pos 7043 JKSKL, Jakarta 12070
- e-mail: e.hiswara@batan.go.id

PENDAHULUAN

Dalam sistem proteksi radiasi yang direkomendasikan ICRP, diadopsi oleh IAEA, dan kemudian digunakan sebagai dasar bagi peraturan di berbagai negara, termasuk Indonesia, sistem proteksi radiasi bagi pekerja radiasi pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem proteksi radiasi bagi masyarakat umum. Dengan demikian, hampir semua konsep proteksi radiasi berlaku baik bagi pekerja maupun masyarakat, kecuali nilai batas dosis yang berbeda antara untuk pekerja dengan untuk masyarakat.

Dalam sistem proteksi radiasi yang berlaku saat ini, jenis situasi pajanan (*exposure situation*) dibedakan atas situasi pajanan terencana, situasi pajanan darurat dan situasi pajanan yang ada. Situasi pajanan terencana adalah situasi pajanan yang melibatkan penggunaan sumber radiasi dengan sengaja, situasi pajanan darurat adalah situasi pajanan yang memerlukan tindakan segera untuk menghindari atau mengurangi konsekuensi yang tidak diinginkan, sementara situasi pajanan yang ada adalah situasi pajanan yang telah ada saat keputusan untuk mengendalikannya dibuat, termasuk situasi pajanan berkepanjangan setelah terjadinya kecelakaan.

Untuk mengendalikan ketiga jenis pajanan ini dibuat nilai batas dosis, penghambat dosis (*dose constraints*), tingkat acuan dan tingkat acuan diagnostik. Nilai batas dosis adalah nilai dosis efektif atau dosis tara (*equivalent dose*) bagi individu dari situasi pajanan terencana yang tidak boleh dilampaui, penghambat dosis adalah nilai dosis individu yang berfungsi sebagai penghambat dasar diterimanya dosis radiasi yang

digunakan saat dilakukan optimisasi proteksi, tingkat acuan adalah tingkat dosis atau risiko yang di atasnya dosis tidak diharapkan terjadi pada situasi pajanan darurat dan yang ada, sedang tingkat acuan diagnostik adalah tingkat acuan yang berlaku pada pajanan di bidang medik.

Sistem proteksi radiasi ini dikembangkan pertama kali pada tahun 1977 dan mengalami perkembangan setiap kali ICRP mengeluarkan rekomendasi terbarunya hingga rekomendasi yang diterbitkan tahun 2014.

Dalam pelaksanaannya, sistem proteksi radiasi banyak menggunakan besaran dan satuan yang walau tujuannya untuk mengkuantifikasi dengan cermat setiap tindakan proteksi yang dilakukan, namun banyak menimbulkan kesalahan pemahaman. Kesalahan pemahaman tidak saja terjadi saat sistem proteksi radiasi diaplikasikan pada masyarakat umum, seperti saat dilakukannya proses evakuasi dan pengungsian masyarakat umum akibat terjadinya kecelakaan PLTN Fukushima di Jepang, namun juga di kalangan praktisi proteksi radiasi itu sendiri.

Sehubungan dengan hal tersebut di atas, makalah ini akan membahas beberapa masalah dan kekeliruan yang terjadi dalam memahami besaran dan satuan proteksi radiasi ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Penggunaan berbagai jenis pembatasan dosis dengan situasi pajanan dan kategori pajanan pada sistem proteksi radiasi diberikan pada Tabel 1. Dalam hal ini, kategori pajanan terdiri atas pajanan kerja, pajanan masyarakat dan pajanan medik. Pajanan kerja adalah pajanan yang

diterima seseorang di tempat kerjanya, pajanan masyarakat adalah semua pajanan yang diterima masyarakat selain akibat pekerjaan dan pajanan medik pasien, sedang pajanan medik adalah pajanan yang diterima pasien dalam menjalani pemeriksaan atau pengobatan medik yang menggunakan radiasi.

Tabel 1. Penghambat dosis dan tingkat acuan pada sistem proteksi radiasi.

Situasi pajanan	Pajanan kerja	Pajanan masyarakat	Pajanan medik
Pajanan terencana	Nilai batas dosis	Nilai batas dosis	Tingkat acuan diagnostik
	Penghambat dosis	Penghambat dosis	(penghambat dosis)
Pajanan darurat	Tingkat acuan	Tingkat acuan	-
Pajanan yang ada	-	Tingkat acuan	-

Seperti terlihat pada Tabel 1, pada situasi pajanan terencana digunakan baik nilai batas dosis maupun penghambat dosis. Nilai batas dosis digunakan pada tahap operasional suatu fasilitas untuk membatasi dosis radiasi yang diterima pekerja, sementara penghambat dosis digunakan pada tahap perencanaan fasilitas, untuk merancang perisai radiasi dan/atau alat pelindung radiasi lainnya agar pada saat operasional nanti pekerja radiasi tidak akan menerima dosis radiasi yang melebihi nilai batas dosis radiasi yang ditetapkan.

Tujuan yang sama juga berlaku dalam menetapkan nilai batas dosis dan penghambat dosis untuk pajanan masyarakat. Sementara untuk pajanan medik, tingkat acuan diagnostik digunakan untuk menunjukkan apakah dosis pasien untuk suatu tindakan tertentu lebih tinggi atau lebih rendah dari tingkat tersebut. Jika salah satu terjadi, suatu kajian harus dilakukan untuk menentukan apakah tindakan proteksi telah dilakukan dengan benar, atau perlu dilakukan tindakan korektif. Sedang penghambat dosis pada pajanan medik hanya berlaku untuk pendamping pasien (keluarga atau kerabatnya) agar tidak menerima dosis radiasi secara berlebihan.

Nilai batas dosis yang berlaku untuk situasi pajanan terencana diberikan pada Tabel 2. Nilai batas yang diberikan dalam besaran dosis efektif dimaksudkan untuk membatasi terjadinya efek stokastik pada individu yang menerima pajanan radiasi atau keturunannya, sementara nilai batas dalam besaran dosis tara tahunan (*annual equivalent dose*) dimaksudkan untuk mencegah terjadinya efek deterministik di organ yang dimaksud pada individu yang menerima pajanan radiasi tersebut.

Tabel 2. Nilai batas dosis untuk situasi pajanan terencana.

Jenis batas	Pekerja	Masyarakat
Dosis efektif	20 mSv per tahun, dirata-ratakan selama 5 tahun	1 mSv per tahun
Dosis tara tahunan pada:		
Lensa mata	20 mSv	15 mSv
Kulit	500 mSv	50 mSv
Tangan dan kaki	500 mSv	

Besaran dosis efektif dan dosis tara merupakan dua besaran proteksi, yaitu besaran yang digunakan untuk mengkaji hubungan dosis radiasi dengan efek kesehatan akibat penyerapan energi pada dosis tersebut. Namun karena besaran proteksi tidak dapat diukur, maka untuk keperluan praktis digunakan besaran operasional yang nilai pengukurannya dapat dianggap sama dengan dosis efektif dan dapat digunakan pula untuk melihat kepatuhan pada nilai batas dosis.

Besaran operasional digunakan pada dosimeter perorangan untuk memantau dosis radiasi yang diterima oleh seorang pekerja radiasi, dan juga pada surveimeter untuk memantau dosis radiasi pada suatu daerah kerja radiasi. Untuk dosimeter perorangan besaran yang digunakan adalah dosis tara perorangan, $H_p(d)$, dengan d adalah kedalaman dari permukaan tubuh yang diberikan dalam 10 mm untuk radiasi dengan daya tembus kuat seperti gamma dan neutron, 3 mm untuk radiasi yang dapat menembus lensa mata, dan 0,07 mm untuk radiasi dengan daya tembus lemah seperti beta dan sinar-X lemah. Ketiga jenis dosis tara

perorangan, $H_p(10)$, $H_p(3)$ dan $H_p(0,07)$ memiliki satuan yang sama, yaitu sievert (Sv).

Untuk surveimeter, besaran yang digunakan adalah dosis tara berarah, $H(0,07)$, untuk radiasi tembus lemah dan dosis tara ambien, $H^*(10)$, untuk radiasi tembus kuat. Kedua besaran ini juga memiliki satuan yang sama, yaitu sievert (Sv).

PEMBAHASAN

Nilai Batas Dosis

Menurut ICRP, nilai batas dosis (NBD) merupakan nilai dosis efektif atau dosis tara pada individu dari situasi pajanan terencana yang tidak boleh dilampaui. Nilai dosis efektif merupakan gabungan dari dosis pajanan eksternal dan dosis terikat dari pajanan internal akibat masukan radionuklida.

Jika nilai batas dosis terlampaui, pemegang izin pemanfaatan tenaga nuklir harus segera melaporkannya ke badan pengawas. Dalam hal ini, pemegang izin harus mengkaji ulang paparan radiasi yang ada dan mengambil tindakan korektif yang diperlukan.

Nilai batas dosis juga pada dasarnya bukan suatu batas dimana jika dilampaui akan langsung mengakibatkan terjadinya efek kesehatan bagi individu yang bersangkutan. Nilai batas dosis hanya merupakan nilai pengingat akan adanya suatu ketidakberesan dalam prosedur penyinaran yang dilakukan, sehingga perlu dilakukan kaji ulang seperti diuraikan sebelumnya. Efek kesehatan hanya akan terjadi jika penerimaan dosis oleh individu yang bersangkutan melampaui dosis ambang untuk terjadinya efek.

Jika prosedur pembenaran dan optimisasi telah dilakukan dengan benar, sebenarnya nilai batas dosis hampir tidak perlu diberlakukan. Namun demikian, nilai batas dapat memberikan batasan yang jelas untuk kedua prosedur yang lebih subyektif tersebut dan juga mencegah kerugian individu yang berlebihan, yang dapat timbul akibat kombinasi pemanfaatan.

Nilai batas dosis tidak berlaku untuk pajanan medik karena radiasi memang dengan sengaja diberikan kepada pasien untuk tujuan diagnostik atau terapi. Namun, nilai batas dosis

berlaku bagi pekerja yang terlibat dalam kegiatan aplikasi radiasi di bidang medik ini.

Nilai batas dosis juga tidak berlaku pada situasi pajanan darurat saat individu yang telah memahami risikonya terlibat dalam tindakan penyelamatan jiwa atau berupaya mencegah terjadinya situasi katastrofik. Untuk relawan seperti ini, pembatasan dosis yang normal agak dilonggarkan. Namun, petugas yang melakukan operasi restorasi atau pemulihan setelah situasi darurat berlalu harus dipandang sebagai pekerja radiasi biasa, yang berarti nilai batas dosis berlaku bagi petugas tersebut. Tabel 3 memberikan nilai pedoman untuk membatasi pajanan yang diterima pekerja kedaruratan yang diberikan oleh IAEA.

Dosis Efektif

Penggunaan utama dari besaran dosis efektif pada proteksi radiasi adalah untuk mengkaji dosis prospektif pada perencanaan dan optimisasi proteksi, dan untuk mengkaji dosis retrospektif dalam menunjukkan kepatuhan pada nilai batas dosis, atau untuk membandingkannya dengan pembatas dosis atau tingkat acuan.

Dengan pemahaman seperti ini, dosis efektif digunakan untuk tujuan pengawasan di seluruh dunia. Dalam aplikasi praktis proteksi radiasi, dosis efektif digunakan untuk mengelola risiko efek stokastik pada pekerja dan masyarakat umum. Perhitungan dosis efektif, dan juga koefisien konversi yang berkenaan untuk pajanan eksternal dan internal, harus didasarkan pada dosis serap, faktor bobot yang berlaku, dan nilai acuan yang relevan terkait organ atau jaringan yang bersangkutan.

Hal lain yang patut ditekankan adalah dosis efektif hanya digunakan untuk besaran proteksi berbasis nilai acuan. Dosis efektif tidak boleh digunakan untuk evaluasi epidemiologi, atau penyelidikan retrospektif spesifik dari pajanan dan risiko individual.

Untuk evaluasi epidemiologi dan penyelidikan retrospektif individual, besaran yang digunakan adalah dosis serap dengan keefektifan biologik kinetik yang paling sesuai,

dan data faktor risiko. Dosis organ atau jaringan, dan bukan dosis efektif, diperlukan untuk mengkaji probabilitas induksi kanker pada pajanan individual.

Tabel 3. Nilai pedoman dosis untuk pekerja kedaruratan.

Tugas	Nilai pedoman
Tindakan penyelamatan jiwa	Hp(10) < 500 mSv Nilai ini bisa dilampaui jika manfaat tindakan diyakini melebihi risiko kesehatan yang diterima pekerja, dan pekerja secara sukarela melakukan tindakan ini, serta memahami dan menerima risiko pada kesehatannya
Tindakan untuk mencegah terjadinya efek deterministik yang parah dan untuk mencegah berkembangnya kondisi katastrofik yang signifikan bagi manusia dan lingkungannya	Hp(10) < 500 mSv
Tindakan untuk mengalihkan terjadinya dosis kolektif yang besar	Hp(10) < 100 mSv

Kerumitan Penggunaan Satuan

Proteksi radiasi merupakan suatu sistem yang menggabungkan data pajanan secara fisik untuk menentukan dosis tara pada organ atau jaringan, dengan data kajian ilmiah mengenai risiko radiasi pada organ atau jaringan tertentu untuk menghitung dosis efektif. Namun demikian, banyaknya istilah besaran (dosis serap, dosis tara, dosis efektif, dosis tara ambien, dosis tara berarah, dosis tara perorangan, dan aktivitas) dan satuan (gray, sievert, dan curie, becquerel) yang digunakan sering mengakibatkan terjadinya kesulitan dalam mengkomunikasikan informasi radiologik kepada masyarakat umum dan juga ilmuwan non-radiasi.

Besaran dosis tara (dosis pada oran atau jaringan) dan dosis efektif (besaran yang digunakan untuk memperkirakan risiko kesehatan akibat suatu pajanan), menggunakan satuan yang sama, yaitu sievert (Sv). Dosis tara merupakan besaran yang relevan untuk melaporkan dosis

organ. Namun jika dosis organ hanya dilaporkan dalam satuannya, maka bisa terjadi kerancuan dengan dosis efektif. Dosis efektif untuk pekerja radiasi dengan masukan iodin radioaktif yang tinggi, misalnya, akan jauh lebih rendah angkanya secara numerik dibanding dosis tara untuk tiroid.

Salah satu usulan untuk meminimalkan kerumitan adalah dengan selalu menuliskan besaran yang dimaksudkan saat satuan sievert digunakan. Usulan lain yang juga diajukan adalah mengubah nama satuan untuk salah satu besaran dosis tara atau dosis efektif.

Dari kedua usulan di atas, banyak yang lebih condong pada usulan pertama dibanding yang kedua. Hal ini disebabkan oleh kenyataan bahwa dosis efektif hanya merupakan nilai yang diberi faktor bobot tambahan untuk dosis tara, yaitu faktor bobot jaringan.

Kerumitan lain juga timbul karena besaran operasional ternyata juga menggunakan satuan yang sama, yaitu sievert (Sv). Dengan demikian, paling tidak ada lima besaran yang memiliki satuan sievert yang sama, yaitu dosis tara, dosis efektif, dosis tara ambien, dosis tara berarah, dan dosis tara perorangan.

Semua kerumitan dalam satuan ini berakar pada kenyataan bahwa kedua besaran dikembangkan oleh dua institusi yang berbeda; besaran proteksi dikembangkan oleh ICRP (Komisi Internasional untuk Proteksi Radiologik), sementara besaran operasional dikembangkan oleh ICRU (Komisi Inernasional untuk Satuan dan Pengukuran Radiasi). Untuk menyederhanakan masalah, kedua institusi ini sebaiknya duduk bersama untuk meninjau kembali secara menyeluruh besaran dan satuan yang digunakan dalam proteksi radiasi.

KESIMPULAN

Besaran dalam sistem proteksi radiasi didasarkan pada besaran fisik dosis serap, yang kemudian dikembangkan menjadi besaran proteksi dosis tara dan dosis efektif, dan karena besaran proteksi tidak dapat diukur langsung dikembangkan pula besaran operasional. Dalam

prakteknya, banyaknya besaran dan satuan yang digunakan ini membawa kesulitan dalam mengkomunikasikan informasi radiologik kepada masyarakat umum dan juga ilmuwan non-radiasi. Untuk ini dua institusi internasional yang memiliki otoritas dalam mengembangkan besaran dan satuan dalam proteksi radiasi, yaitu ICRP dan ICRU, perlu meninjau kembali secara menyeluruh semua besaran dan satuan yang digunakan tersebut agar dapat mudah dipahami oleh masyarakat umum dan juga oleh ilmuwan non-radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

A.J. GONZALEZ, M. AKASHI, J.D. BOICE, Jr, et.al,
Radiological protection issues arising during and after

- the Fukushima nuclear reactor accident. *J.Radiol.Prot.* 33, pp. 497-571, 2013.
- IAEA, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna, 2014.
- ICRP, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP 37(2-4), 2007.
- ICRP, Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1(3), 1977.
- Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif, 2013