

OA08

SKENARIO PENETAPAN DAN PENERAPAN PEMBATAS DOSIS DI FASILITAS KESEHATAN DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI TAHAP OPERASIONAL

Endang Kunarsih¹, Iswandarini¹

¹Pusat Pengkajian Sistem Teknologi dan Pengawasan Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif -BAPETEN
e-mail: e.kunarsih@bapeten.go.id

ABSTRAK

SKENARIO PENETAPAN DAN PENERAPAN PEMBATAS DOSIS DI FASILITAS KESEHATAN DALAM UPAYA OPTIMISASI PROTEKSI RADIASI TAHAP OPERASIONAL. Pembatas dosis yang ditetapkan untuk pekerja radiasi tahap operasional merupakan nilai dosis yang menjadi salah satu indikator tingkat penerapan optimisasi proteksi radiasi di suatu fasilitas. Pada tahun 2017 dilakukan survey di beberapa fasilitas kesehatan terkait penerapan pembatas dosis tahap operasional, yang hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar fasilitas belum menentukan dan menerapkan konsep pembatas dosis bagi pekerja radiasi pada tahap operasional, yang disebabkan antara lain dari aspek *awareness* yang belum memadai dalam memahami pentingnya peranan pembatas dosis sebagai salah satu upaya dalam mengoptimalkan proteksi radiasi dan aspek ketersediaan metode penetapan dan penerapan pembatas dosis yang juga belum memadai. Dalam makalah ini akan dilakukan telaah untuk merekomendasikan beberapa skenario metode penetapan dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi fasilitas kesehatan dalam upaya mendukung penerapan optimisasi proteksi radiasi di fasilitas kesehatan. Sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan adalah data dosis tahunan yang diterima oleh pekerja radiasi di fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional, fasilitas radioterapi, dan fasilitas kedokteran nuklir. Hasil telaah menunjukkan bahwa penetapan pembatas dosis dapat dipertimbangkan melalui masa operasional dan situasi izin suatu fasilitas, sedangkan penerapan pembatas dosis dilakukan melalui pemantauan secara berkala terhadap data dosis tahunan pekerja.

Kata kunci: pembatas dosis, optimisasi, proteksi radiasi

ABSTRACT

THE SCENARIO FOR DETERMINATION AND IMPLEMENTATION OF DOSE CONSTRAINT IN MEDICAL FACILITIES AS A MEANS OF RADIATION PROTECTION OPTIMIZATION AT THE OPERATIONAL PHASE. The dose constraint assigned to the operational phase are the dose values that serve as an indicator of the implementation level of optimization of radiation protection at a facility. In 2017 a survey was conducted at several medical facilities related to the implementation of dose constraint at the operational phase, the results showed that most facilities have not yet determined and applied the concept of dose constraint for workers at the operational phase, caused by i.a. the lack of awareness in understanding of importance of dose constraint role as the efforts in optimizing radiation protection and the lack of methods for determining and implementing dose constraint. In this paper, a review will be conducted to recommend some scenarios for assigning and implementing dose constraint to various medical facility conditions in order to support the implementation of radiation protection optimization in medical facilities. The dose data samples for discussion are annual worker data dose at diagnostic and interventional radiology facilities, radiotherapy facilities, and nuclear medicine facilities. The results show that the determination of dose constraint may be considered over the operational life and license status of a facility, whereas implementation dose constraint is carried out through periodic monitoring of annual doses of workers.

Keywords: dose constraint, optimization, radiation protection

PENDAHULUAN

Optimisasi proteksi radiasi merupakan suatu upaya untuk meminimalkan dosis yang diterima pasien atau pekerja radiasi atau masyarakat menjadi serendah mungkin yang dapat dicapai (*As Low As Reasonably Achievable = ALARA*). Optimisasi proteksi radiasi dalam bidang kesehatan diterapkan berdasarkan pada jenis paparan radiasi yang terlibat, yaitu paparan kerja, paparan medik, dan paparan publik. Optimisasi terhadap paparan medik dikembangkan melalui penetapan tingkat panduan untuk paparan medik, sedangkan optimisasi terhadap

paparan kerja dan publik dikembangkan melalui penetapan pembatas dosis.

Untuk mendorong penerapan optimisasi tersebut khususnya dalam konteks paparan kerja, BAPETEN telah menerbitkan Peraturan Kepala (Perka) BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir yang mewajibkan pemegang izin (PI) untuk menerapkan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Pada Pasal 41 dan Pasal 43 ayat (1) dan ayat (2), diuraikan bahwa penerapan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi salah satunya dapat dilaksanakan melalui

penetapan pembatas dosis untuk pekerja radiasi. Pembatas dosistersebut ditetapkan oleh PI pada tahap konstruksi dan/atau tahap operasional.

Pembatas dosis untuk tahap konstruksi/desain bangunan fasilitas telah ditetapkan BAPETEN yaitu sebesar 1/2 (satu per dua) dari Nilai Batas Dosis (NBD) pekerja radiasi atau 10 mSv/tahun sebagaimana tertuang dalam Perka BAPETEN No. 17 Tahun 2012 [2] tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir Pasal 47 ayat 3, Perka BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 [3] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi Pasal 41 Ayat 2, dan Perka BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 [4] tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensial Pasal 37.

Pembatas dosis untuk tahap operasional belum ditetapkan dalam regulasi BAPETEN melainkan harus ditetapkan sendiri oleh masing-masing fasilitas atau PI sebagai bentuk upaya penerapan prinsip optimisasi proteksi radiasi di fasilitas tersebut. Namun demikian, berdasarkan hasil survey di fasilitas kesehatan pada tahun 2017 ditemukan bahwa sebagian besar fasilitas kesehatan belum menentukan dan menerapkan konsep pembatas dosis bagi pekerja radiasi pada tahap operasional ini, yang disebabkan antara lain dari aspek *awareness* yang belum memadai dalam hal memahami pentingnya peranan pembatas dosis sebagai salah satu upaya dalam mengoptimalkan proteksi radiasi dan aspek ketersediaan metode dalam hal penetapan penerapan pembatas dosis juga belum memadai.

Dengan demikian dalam makalah ini akan diuraikan usulan beberapa skenario metode penetapan pembatas dosis dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi fasilitas kesehatan dalam upaya mendukung penerapan optimisasi proteksi radiasi di fasilitas kesehatan.

LANDASAN TEORI

a) Manajemen dosis bagi pekerja radiasi

Dalam GSR Part 3, dikenal situasi paparan yang salah satunya adalah paparan terencana (*planned exposure*) yaitu paparan radiasi yang berasal dari kegiatan yang terencana yang menggunakan sumber radiasi pengion. Pengendalian paparan dalam situasi ini adalah dengan penggunaan desain fasilitas yang baik (*good design of facilities*), penggunaan peralatan yang memadai dan penggunaan prosedur pengoperasian yang tepat serta pengadaan pelatihan bagi pekerja radiasi. [5]

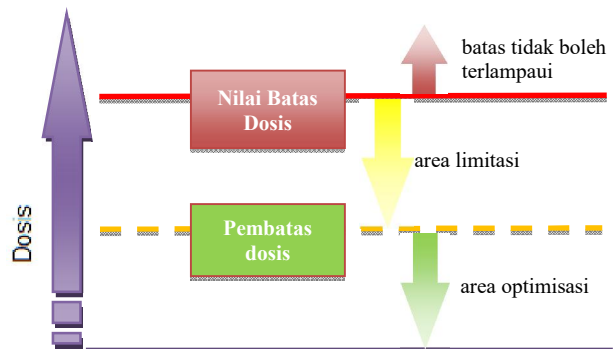
Manajemen dosis bagi pekerja radiasi hendaknya diutamakan berbasis pada situasi paparan terencana. Data jumlah pekerja radiasi, jumlah jam kerja, jumlah beban kerja, menjadi acuan pimpinan/manajemen fasilitas kesehatan yang dibantu oleh Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dalam menyusun perencanaan kegiatan dengan mempertimbangkan aspek proteksi dan keselamatan

radiasi. Manajemen menetapkan penugasan berdasarkan usulan PPR terkait aspek proteksi dan keselamatan radiasi. Selama penugasan pekerja radiasi, PPR melakukan pemantauan dosis pekerja radiasi dan secara berkala melakukan evaluasi. PPR melaporkan hasil evaluasi dosis ke manajemen fasilitas kesehatan sebagai umpan balik dari perencanaan kegiatan di masa mendatang.

b) Konsep pembatas dosis

Sesuai dengan prinsip ALARA, International Commission on Radiological Protection (ICRP) merekomendasikan penggunaan pembatas dosis untuk membantu perencanaan program proteksi radiasi secara optimal dalam situasi paparan yang telah direncanakan. Selain itu pembatas dosis menjadi salah satu parameter tingkat optimisasi bagi pekerja radiasi dalam melaksanakan tugasnya, sehingga nilainya sangat mungkin berbeda antar jenis pekerja radiasi satu dengan yang lainnya. Tujuan utama pembatas dosis adalah untuk mengendalikan dosis individual pekerja radiasi yang berasal dari sebuah sumber radiasi pengion, kegiatan atau tugas tertentu dengan mempertimbangkan proses optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi terhadap sumber, kegiatan atau tugas tersebut. Dalam konteks paparan kerja, pembatas dosis merupakan tingkat dosis yang dijadikan acuan besarnya dosis yang umumnya diterima oleh pekerja radiasi di suatu fasilitas pada kondisi operasional normal, dengan mempertimbangkan penerapan proteksi dan keselamatan radiasi, oleh karena itu dapat digunakan untuk membatasi pilihan tindakan yang dipertimbangkan dalam proses mengoptimalkan proteksi radiasi. [6, 7, 8, 9]

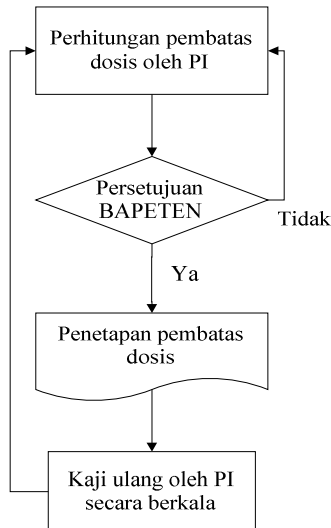
Perbedaan mendasar antara pembatas dosis dengan NBD diilustrasikan pada Gambar 1 yang mendeskripsikan posisi pembatas dosis sebagai marjin optimisasi yang nilainya lebih kecil dari NBD tahunan yang merepresentasikan marjin limitasi.



Gambar 6. Perbedaan pembatas dosis dengan NBD.

Di Indonesia, pembatas dosis telah diberlakukan melalui Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1]. Dalam peraturan tersebut diamanatkan bahwa PI yang telah menetapkan pembatas dosis pekerja radiasi harus menyampaikan perhitungan penetapan pembatas dosis tersebut kepada BAPETEN untuk mendapatkan persetujuan

Kepala BAPETEN. Setelah mendapatkan persetujuan, PI diharuskan melaksanakan kaji ulang terhadap pembatas dosis secara berkala selama pengoperasian fasilitas atau instalasi. Apabila hasil kaji ulang tersebut menunjukkan bahwa diperlukan perubahan pembatas dosis, maka PI harus mengajukan perubahan pembatas dosis kepada Kepala BAPETEN.



Gambar 7. Alur proses implementasi konsep pembatas dosis di fasilitas kesehatan

Meskipun demikian, hingga kini konsep pembatas dosis belum dirumuskan secara khusus untuk tingkat operasional. Tersedianya sumber daya manusia dan peralatan memungkinkan fasilitas tertentu menetapkan pembatas dosis untuk diberlakukan pada fasilitas tersebut berdasarkan hasil kajian internal

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam makalah ini adalah survey dan wawancara di fasilitas kesehatan untuk mengumpulkan data sekunder, dilanjutkan dengan analisis statistik terhadap data tersebut.

Data yang dikumpulkan berupa dosis efektif per tahun yang diterima pekerja radiasi pada kondisi operasional normal dalam kurun waktu 3 (tiga) tahun. Data dosis yang tersedia dikelompokkan berdasarkan kategori profesikarenasetiap profesi memiliki tugas yang berbeda dalam kaitannya dengan sumber radiasi, sehinggakaan memengaruhi besarnya perolehan dosis setiap individu.

Melalui pengumpulan data dosis efektif tahunan pekerja, akan dapat di-peta-kan karakter/profil dosis pekerja di suatu fasilitas kesehatan sehingga skenario penetapan dan penerapan pembatas dosis pada berbagai kondisi dapat dianalisis dengan lebih mudah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Responden yang dihimpun tahun 2017 sebanyak 20 fasilitas radioterapi, 11 (sebelas) fasilitas

kedokteran nuklir dan 1 (satu) fasilitas radiologi diagnostik dan intervensional, namun sampel data dosis yang digunakan sebagai contoh kasus untuk pembahasan makalah ini dibatasi pada data dosis tahunan pekerja dari 1 (satu) fasilitas radiodiagnostik dan intervensional, 2 (dua) fasilitas radioterapi, dan 1 (satu) fasilitas kedokteran nuklir.

1. Penetapan pembatas dosis

Dalam makalah ini diusulkan metode penentuan pembatas dosis dengan melalui pendekatan konservatif yaitu berdasarkan data dosis tahunan pekerja radiasi. Sebagaimana diatur dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 Pasal 25, Pasal 34 dan Pasal 53 [1] bahwa PI wajib melakukan pemantauan dosis yang diterima pekerja radiasi melalui evaluasi dosis perorangan secara berkala setiap 3 (tiga) bulan sekali (apabila menggunakan TLD) dan hasil pemantauan dosis tersebut harus disimpan. Dengan demikian setiap fasilitas kesehatan diasumsikan memiliki rekaman data dosis pekerja yang lengkap terhitung sejak fasilitas tersebut beroperasi minimal selama setahun.

Oleh karena itu, terkait dengan ketersediaan data dosis pekerja, diusulkan 3 (tiga) skenario penetapan pembatas dosis berdasarkan kategori masa operasi fasilitas, yaitu sebagai berikut:

- Masa operasi 1, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi dari 0 (nol) sampai dengan 2 (dua) tahun.
- Masa operasi 2, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi dari 3 (tiga) sampai dengan 4 (empat) tahun.
- Masa operasi 3, untuk instalasi atau fasilitas dengan masa operasi lebih dari 4 (empat) tahun.

Berdasarkan kategori masa operasi di atas, rekomendasi pemilihan skenario penetapan pembatas dosis ditampilkan pada Tabel 1. Sebagai catatan, penentuan jumlah tahun (masa) operasi ini diperhitungkan sejak dioperasikannya fasilitas dengan modalitas yang pertama kali digunakan. Apabila fasilitas kesehatan menambah modalitas baru maka tidak berarti kembali pada masa operasi 1, namun tetap sesuai dengan masa operasi yang terkini.

Tabel 3. Skenario pemilihan penetapan pembatas dosis berdasarkan masa operasi suatu fasilitas

Masa operasi fasilitas	Pembatas Dosis
1	2
Masa operasi 1 (0 – 2 tahun)	Menggunakan pembatas dosis sesuai tahap desain bangunan fasilitas ($\frac{1}{2}$ NBD).
Masa operasi 2 (2 – 4 tahun)	Menggunakan dosis tahunan maksimum yang diterima pekerja.
Masa operasi 3 (> 4 tahun)	Menggunakan dosis pada kuartil ke-3 dari sebaran data dosis tahunan pekerja pada kurun waktu tertentu.

Pada instalasi atau fasilitas baru (masa operasi 1), dapat menggunakan metode $\frac{1}{2}$ NBD pekerja sebagai pembatas dosis sampai dengan 2 (dua) tahun fasilitas tersebut beroperasi. Pada fasilitas baru ini tentunya data dosis pekerja belum tersedia, sehingga pilihan yang paling memungkinkan adalah menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas yaitu sebesar $\frac{1}{2}$ NBD. Pada masa operasi ini, seluruh profesi dapat menggunakan nilai pembatas dosis yang sama.

Pada instalasi atau fasilitas yang telah beroperasi lebih dari 2 (dua) tahun dapat menggunakan kategori masa operasi 2. Sebagai contoh kasus untuk skenario ini adalah data dosis dari salah satu responden fasilitas radioterapi, yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 4. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radioterapi RS A.

Profesi	Dosis tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	Max
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Onk	0,019	0,065	0,117	0,067	0,117
Fisikawan medis	0,019	0,070	0,123	0,071	0,123
PPR	0,068	0,095	0,090	0,084	0,095
Radioterapis	0,034	0,081	0,076	0,064	0,081
Dosimetris	0,018	0,080	0,095	0,064	0,095
Teknisi elektromedis	0,014	0,080	0,130	0,075	0,130
Perawat radioterapi	0,025	0,153	0,051	0,076	0,153
Petugas mould room	0,036	0,170	0,030	0,079	0,170

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD

Pada masa operasi 2 diasumsikan memiliki data dosis tahunan pekerja sebanyak minimal 2 (dua) kelompok data. Nilai dosis tahunan yang diperoleh dapat lebih kecil, sama dengan atau lebih besar dari pembatas dosis yang telah ditetapkan sebelumnya. Pada masa operasi 2 ini, nilai numerik pembatas dosis dapat ditetapkan berdasarkan nilai dosis tahunan maksimum (tertinggi) yang diterima oleh setiap jenis profesi pekerja radiasi. Pendekatan ini dilakukan karena jumlah data yang tersedia belum mewakili tren penerimaan dosis secara statistik. Pada Tabel 2 di atas, pembatas dosis untuk masing-masing jenis profesi ditetapkan sebesar nilai pada kolom 6.

Pada instalasi atau fasilitas yang telah beroperasi lebih dari 4 (empat) tahun, dapat menggunakan masa operasi 3. Sebagai contoh kasus untuk skenario ini disajikan pada tabel 3.

Tabel 5. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas kedokteran nuklir RS B.

Profesi	Dosis tahunan (mSv)					
	2013	2014	2015	2016	Rata	Q3
1	2	3	4	5	6	7
Dokter Sp.KN	1,755	0,287	0,100	0,153	0,574	0,654
DokterSp.Rad	0,730	0,322	0,023	0,060	0,284	0,424
Fisikawan medis	0,572	0,227	0,420	0,260	0,370	0,458
Radiofarmasis	0,938	0,994	2,070	1,610	1,403	1,725
Radiografer	1,098	1,088	0,980	2,030	1,299	1,331

Profesi	Dosis tahunan (mSv)					
	2013	2014	2015	2016	Rata	Q3
1	2	3	4	5	6	7
Perawat KN	2,624	2,704	2,980	2,760	2,767	2,815
Analisis kesehatan	0,857	1,106	1,020	1,210	1,048	1,132

Catatan:

Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD

Pada masa operasi 3 diasumsikan bahwa fasilitas telah memiliki data dosis tahunan pekerja sebanyak minimal 4 (empat) kelompok data sehingga cukup untuk mewakili tren penerimaan dosis secara statistik. Oleh karena itu, nilai pembatas dosis untuk setiap profesi dapat menggunakan metode penentuan nilai kuartil ke-3 dari sebaran dosis yang diterima oleh pekerja radiasi, dengan asumsi sebaran data tersebut berupa sebaran normal (Gaussian) [10].

Kuartil adalah suatu nilai data yang membagi empat sama banyak kumpulan data yang telah diurutkan. Untuk mencari posisi kuartil ke-3 (Q3) dapat menggunakan rumus:

$$n_{q3} = \frac{3(n+1)}{4} \quad (\text{persm. 1})$$

Sedangkan nilai Q3 dihitung menggunakan rumus:

$$X_{q3} = X_{a,3} + \frac{1}{4} (X_{b,3} - X_{a,3}) \quad (\text{persm. 2})$$

dengan

n_{q3} = posisi kuartil ke-3

n = banyaknya data

X_{q3} = nilai kuartil ke-3

$X_{a,3}$ = nilai sebelum n_{q3}

$X_{b,3}$ = nilai setelah n_{q3}

Nilai $Q3$ inilah yang dapat diusulkan menjadi nilai pembatas dosis. Pada Tabel 3 di atas, pembatas dosis untuk masing-masing jenis profesi ditetapkan sebesar nilai pada kolom 7.

Dengan memperhatikan Tabel 2 dan Tabel 3, dapat ditarik pemahaman bahwadengan ditetapkannya nilai numerik pembatas dosis, maka hal tersebut dapat menjadi indikator bahwa dosis yang besarnya di atas pembatas dosis harus menjalani langkah-langkah sebagai upaya mengoptimalkan proteksi radiasi sehingga diharapkan dosis tersebut dapat turun nilainya menjadi di bawah atau sama dengan pembatas dosis yang telah ditetapkan. Sebagaimana direkomendasikan dalam ICRP 103 [11] bahwa apabila terdapat pekerja radiasi yang mendapatkan dosis melebihi dari pembatas dosis, penanggungjawab fasilitas harus menginvestigasi untuk menentukan akar penyebab dan selanjutnya mengambil langkah tindak lanjut guna memperbaiki optimisasi proteksi radiasi.

Namun demikian, penerapan optimisasi proteksi radiasi tidak serta merta hanya melibatkan aspek teknis saja namun hendaknya juga mempertimbangkan aspek ekonomi dan sosial, oleh

karena itu terdapat beberapa kondisi yang perlu diperhatikan, yaitu:

- a) Perbedaan dosis tahunan pekerja antara satu profesi dengan profesi yang lain tidak berbeda signifikan.

Skenario penentuan pembatas dosis berdasarkan jenis profesi pekerja radiasi pada suatu fasilitas kesehatan dapat dipertimbangkan kembali apabila data menunjukkan bahwa perbedaan dosis tahunan antara satu profesi dengan profesi yang lain tidak berbeda signifikan. Pada kondisi ini, pembatas dosis dapat ditetapkan seragam untuk semua profesi yang ada di fasilitas kesehatan tersebut.

Penetapan signifikansi perbedaan pembatas dosis antar profesi diusulkan dengan menggunakan kriteria margin dosis maksimum antar profesi, yang diperoleh dari selisih antara dosis rerata tahunan tertinggi dengan dosis rerata tahunan terendah. Apabila margin dosis antar profesi lebih kecil dari atau sama dengan 1 mSv maka signifikansi perbedaan dosis antar profesi relatif rendah, sehingga direkomendasikan agar pembatas dosis ditetapkan seragam untuk semua profesi, dengan besarnya nilai pembatas dosis adalah nilai pembatas dosis dari profesi dengan dosis rerata tertinggi.

Sebagai contoh kasus untuk skenario ini disajikan dalam Tabel 4 berikut:

Tabel 6. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radioterapi RS C

Profesi	Dosis tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	PD
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Onk	0,830	0,985	1,060	0,958	1,060
Fisikawan medis	1,000	0,960	0,650	0,870	1,000
PPR	1,055	0,888	0,604	0,849	1,055
Radioterapis	1,070	1,500	0,720	1,097	1,500
Teknisi elektromedis	1,180	0,870	0,640	0,897	1,180
Perawat radioterapi	1,080	1,150	0,640	0,957	1,150
Petugas mould room	0,960	0,560	0,670	0,730	0,960
			max	1,097	
			min	0,730	
			margin	0,367	

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD
- PD = pembatas dosis

Pada Tabel 4 tersebut nampak bahwa margin dosis diperoleh sebesar 0,367 mSv (kurang dari 1 mSv), sehingga disimpulkan bahwa pembatas dosis di fasilitas tersebut dapat ditetapkan seragam bagi semua profesi yaitu sebesar 1,5 mSv (dipilih dari profesi yang memiliki dosis rerata maksimum).

- b) Data dosis tahunan pekerja hampir semua menunjukkan nilai nol atau kurang dari 1 mSv.

Pada kondisi demikian makadirekomendasikan agar fasilitas dapat langsung menetapkan nilai

pembatas dosisnya sebesar 1 mSv. Sebagai contoh untuk skenario ini disajikan dalam Tabel 5 berikut:

Tabel 7. Data dosis tahunan pekerja radiasi di fasilitas radiologi diagnostik intervensional RS D.

Profesi	Data Tahunan (mSv)				
	2014	2015	2016	Rerata	PD
1	2	3	4	5	6
Dokter Sp. Rad	0,598	0,099	0,084	0,260	0,598
Fisikawan medis	0,490	0,240	0,290	0,340	0,490
PPR	0,567	0,220	0,340	0,376	0,567
Radiografer	0,529	0,206	0,265	0,333	0,529
Perawat	0,590	0,050	0,035	0,225	0,590
Cathlab	0,753	0,462	0,227	0,481	0,753

Catatan:

- Jenis dosimeter perorangan yang digunakan adalah TLD
- PD = pembatas dosis

Pada Tabel 5 tersebut nampak bahwa seluruh nilai pembatas dosis yang diperoleh adalah kurang dari 1 mSv, oleh karena itu fasilitas dapat langsung menetapkan bahwa pembatas dosis yang digunakan adalah 1 mSv dan berlaku untuk seluruh jenis profesi pekerja radiasi dalam fasilitas.

2. Penerapan pembatas dosis

Pada fasilitas yang telah menghitung dan menetapkan nilai numerik pembatas dosis, maka implementasi dari penetapan pembatas dosis tersebut harus dipantau secara rutin atau berkala. Namun demikian, sebagaimana yang telah disajikan dalam Gambar 2 di atas, fasilitas melalui PI perlu menjalani beberapa tahapan berikut:

- a) PI menyampaikan pengajuan usulan perhitungan pembatas dosis tersebut kepada BAPETEN untuk dilakukan evaluasi dan mendapatkan persetujuan Kepala BAPETEN, sebagaimana diuraikan dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] Pasal 43 ayat (3) dan (4). Oleh karena itu direkomendasikan agar pengajuan pembatas dosis dilakukan bersamaan dengan pengajuan izin. Dengan mengacu pada sistem perizinan yang berlaku di BAPETEN, penetapan pembatas dosis ini dimasukkan sebagai bagian dari dokumen Program Proteksi dan Keselamatan Radiasi (PPKR). Guna melengkapi usulan penetapan nilai numerik pembatas dosis tersebut, hendaknya dicantumkan uraian yang memuat informasi antara lain tentang:
- urgensi perlunya penetapan pembatas dosis,
 - metode yang digunakan untuk penetapan pembatas dosis,
 - nilai pembatas dosis yang diusulkan, dan
 - periode kaji ulang pembatas dosis,
- serta dilampiri dengan data dukung antara lain berupa:
- hasil pengumpulan data dosis pekerja pada periode tertentu dan pengolahan data dosis pekerja menjadi pembatas dosis,

- hasil kaji ulang pembatas dosis, apabila telah dilakukan.

Dalam hal pengajuan penetapan pembatas dosis ini, PI perlu mempertimbangkan berbagai situasi terkini status perizin yang ada di fasilitas, sehingga dapat dipilih beberapa skenario pembatas dosis yang tepat dan efektif. Beberapa contoh situasi (status perizin) yang dapat dipertimbangkan dalam skenario pemilihan pembatas dosis yang akan diajukan ke BAPETEN diuraikan dalam Tabel 6.

Tabel 8. Skenario pemilihan penetapan pembatas dosis berdasarkan situasi/status izin.

No.	Situasi (status perizin)	Kategori masa operasi	Pembatas Dosis
1	2	3	4
1.	Fasilitas baru dengan 1 jenis modalitas yang akan mengajukan izin konstruksi.	Situasi ini disetarakan dengan Pra-Masa operasi 1.	Menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas.
2.	Fasilitas baru dengan 1 modalitas yang mengajukan izin operasi.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 1.	Menggunakan pembatas dosis pada tahap desain bangunan fasilitas.
3.	Fasilitas dengan 1 modalitas yang mengajukan izin perpanjangan.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasionalnya.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
4.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan izin konstruksi untuk modalitas baru.	Situasi ini dapat disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis tahap operasi sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
5.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan izin operasi untuk modalitas baru.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
6.	Fasilitas yang telah memiliki lebih dari 1 modalitas dan akan mengajukan perpanjangan izin untuk modalitas baru.	Situasi ini disetarakan dengan Masa operasi 2 atau Masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasional modalitas yang pertama.	Menetapkan pembatas dosis sesuai masa operasi (lihat Tabel 1).
7.	Fasilitas telah memiliki modalitas untuk	Pada situasi ini masa operasi untuk modalitas baru	Menetapkan pembatas dosis sesuai

No.	Situasi (status perizin)	Kategori masa operasi	Pembatas Dosis
1	2	3	4
	jenis pemanfaatan tertentu dan akan mengajukan izin konstruksi modalitas baru untuk jenis pemanfaatan yang berbeda.	tersebut menggunakan masa operasi 1, tidak dipengaruhi dengan modalitas yang telah ada sebelumnya karena berbeda jenis pemanfaatan	masa operasi (lihat Tabel 1).

Catatan: situasi (status perizin) untuk masing-masing pemanfaatan radiologi diagnostik intervensional, radioterapi atau kedokteran nuklir tidak memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya karena dokumen PPKR dibuat secara terpisah.

Situasi nomor 1 menggambarkan suatu fasilitas kesehatan yang akan membangun fasilitas layanan radiologi berupa radiologidiagnostik, interventional, radioterapi dan/atau kedokteran nuklir. Meskipun izin konstruksi diberlakukan hanya untuk radioterapi dan kedokteran nuklir, namun persyaratan desain bangunan fasilitas berlaku untuk radiologidiagnostik intervensional, radioterapi dan kedokteran nuklir. Pemenuhan terkait penerapan pembatas dosis terhadap persyaratan desain bangunan fasilitas dinilai pada saat evaluasi dokumen PPKR untuk izin konstruksi penggunaan radioterapi dan kedokteran nuklir yaitu sebesar $\frac{1}{2}$ NBD pekerja radiasi.

Situasi nomor 2 menggambarkan suatu fasilitas kesehatan yang akan mengajukan permohonan izin operasi untuk pemanfaatan radiologidiagnostik intervensional, radioterapi dan/atau kedokteran nuklir. Pemenuhan terkait penerapan pembatas dosis terhadap persyaratan desain bangunan fasilitas dinilai pada saat evaluasi dokumen PPKR pada pemanfaatan radiologi diagnostik dan intervensional, sedangkan pada pemanfaatan radioterapi dan kedokteran nuklir, pemenuhan pembatas dosis dinilai tetap menggunakan kriteria yang sama dengan tahap desain bangunan fasilitas, yaitu $\frac{1}{2}$ NBD pekerja radiasi.

Situasi nomor 3, nomor 4, nomor 5, nomor 6 dan nomor 7 menggambarkan fasilitas kesehatan yang telah mendapat izin pemanfaatan dan akan mengajukan permohonan perpanjangan izin operasi dan permohonan izin konstruksi atau izin operasi untuk modalitas baru. Untuk radiologi diagnostik dan intervensional, pada saat dilakukan perpanjangan izin diharapkan penerapan pembatas dosis menggunakan masa operasi 2 atau masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasinya. Sedangkan untuk radioterapi dan kedokteran nuklir, pada saat dilakukan perpanjangan izin diharapkan penerapan pembatas dosis menggunakan masa operasi 1, masa operasi 2 atau masa operasi 3 sesuai jumlah tahun operasinya.

- Bagi fasilitas yang telah memiliki izin operasi dan mengajukan izin konstruksi maupun izin operasi bagi modalitas baru, penerapan pembatas dosis tetap mengikuti masa operasi sesuai jumlah tahun operasional dari izin yang telah ada sebelumnya. Dengan adanya pengoperasian 2 (dua) atau lebih modalitas, terdapat potensi kenaikan dosis radiasi pekerja dikarenakan peningkatan beban kerja. Situasi ini berkaitan erat dengan kaji ulang dosis radiasi, apabila analisis statistik menunjukkan kenaikan dosis maka nilai pembatas dosis perlu dinaikkan. Sebagai catatan pada kasus ini, dalam hal pengajuan izin konstruksi modalitas baru, evaluator BAPETEN tetap akan menggunakan kriteria pembatas dosis ½ NBD pekerja radiasi dalam mengevaluasi desain bangunan fasilitas untuk modalitas baru.

Sebagai contoh:

RSX telah memiliki izin operasi pesawat Co-60 yang memasuki jumlah tahun operasi 6 tahun. RS X akan mengajukan permohonan izin konstruksi untuk pesawat LINAC. Dalam kasus ini, pembatas dosis tahap operasional yang diimplementasikan oleh RS X tetap menggunakan pembatas dosis selama pengoperasian pesawat Co-60, sedangkan untuk keperluan izin konstruksi LINAC RS X menggunakan pembatas dosis sebesar ½ NBD.

- Bagi fasilitas kesehatan yang telah memiliki izin operasi untuk jenis pemanfaatan tertentu dan mengajukan izin konstruksi maupun izin operasi bagi modalitas baru untuk jenis pemanfaatan yang berbeda, maka penerapan pembatas dosis akan ditetapkan secara berbeda.

Sebagai contoh:

RSX telah memiliki izin operasi pesawat Co-60 yang memasuki jumlah tahun operasi 6 tahun. RS X akan mengajukan permohonan izin untuk pesawat fluoroskopi C-arm baru. Dalam kasus ini, RS X perlu menetapkan pembatas dosis untuk fasilitas radioterapi dan pembatas dosis untuk fasilitas radiologi intervensional. Untuk fasilitas radioterapi menggunakan pembatas dosis sesuai kategori masa operasi 3, sedangkan untuk fasilitas radiologi intervensional menggunakan pembatas dosis dengan kategori masa operasi 1.

- b) PI melaksanakan kaji ulang terhadap pembatas dosis pekerja radiasi selama pengoperasian fasilitas atau instalasi secara berkala, sebagaimana diuraikan dalam Perka BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [1] Pasal 44, namun demikian periode waktu dan tata cara kaji ulang tidak diatur dalam regulasi ini. Oleh karena itu direkomendasikan bahwa:
 - i. Penentuan periode perlu mempertimbangkan tingkat signifikansi risiko paparan kerja dan

tren penerimaan dosis pekerja radiasi dari tahun ke tahun. Tingkat signifikansi risiko dapat direpresentasikan dari masa berlaku izin, sehingga secara teknis dapat menggunakan pendekatan yang moderat untuk menentukan periode kaji ulang yaitu 2 (dua) kali masa berlaku izin.

Tabel 9. Rekomendasi pemilihan periode kaji ulang pembatas dosis berdasarkan jenis fasilitas kesehatan dan masa berlaku izin.

Fasilitas Kesehatan	Masa berlaku izin operasi (PP 29 Tahun 2008 Lampiran I [12])	Periode kaji ulang
1	2	3
Radioterapi	1 (satu) - 2 (dua) tahun	2 (dua) tahun
Kedokteran nuklir diagnostik in vivo	1 (satu) tahun	2 (dua) tahun
Kedokteran nuklir diagnostik terapi	1 (satu) tahun	2 (dua) tahun
Radiologi diagnostik dan intervensional	2 (dua) - 3 (tiga) tahun	4 (empat) tahun

- ii. Kaji ulang dilakukan melalui pemantauan dan evaluasi terhadap rekaman data dosis pekerja radiasi pada periode berikutnya. Apabila hasil evaluasi menunjukkan bahwa dosis pekerja tidak memiliki kecenderungan melampaui pembatas dosis yang telah ditetapkan maka dapat dipertimbangkan untuk tidak melakukan perubahan pembatas dosis atau bahkan dapat menurunkan besarnya nilai pembatas dosis. Demikian pula sebaliknya. Namun demikian, perlu dilakukan reuiu untuk mencari akar penyebab terjadinya nilai dosis yang melebihi pembatas dosis, yang pada umumnya mencakup aspek personil, peralatan, prosedur operasional, dan manajemen, antara lain:
 - kemampuan dan kepedulian personil dalam menerapkan proteksi dan keselamatan radiasi di bidang kerja yang menjadi tugasnya,
 - kemampuan personil dalam melakukan pekerjaan sesuai dengan standar/prosedur operasional,
 - desain beban kerja personil, yang terkait dengan jumlah jam kerja, jumlah pasien yang ditangani, jumlah kegiatan yang dilakukan, dan lainnya,
 - kinerja peralatan utama dan peralatan pendukung,
 - ketersediaan perlengkapan proteksi radiasi,
 - adanya insiden atau kecelakaan yang terjadi selama periode pemantauan.
 - kesalahan dalam meletakkan/menyimpan TLD kontrol sehingga mempengaruhi hasil evaluasi pembacaan dosis.

Dengan teridentifikasinya akar penyebab tersebut kemudian dapat dirumuskan rencana aksi untuk menindaklanjutinya, misalnya:

- menyediakan program pelatihan rutin untuk meningkatkan pemahaman dan kepedulian personil terkait proteksi radiasi dan keselamatan radiasi
- menyediakan program pelatihan rutin untuk meningkatkan kemampuan teknis terkait prosedur operasional atau pengoperasian peralatan tertentu,
- meningkatkan ketersediaan personil yang kompeten sesuai bidang kerja yang akan menjadi tugasnya,
- perbaikan dan pemutakhiran metode/prosedur operasional,
- pengendalian mutu peralatan utama maupun peralatan pendukung,
- peningkatan ketersediaan dan kelengkapan perlengkapan proteksi radiasi,
- perbaikan sistem/desain penjadwalan kerja personil.

Hasil kaji ulang yang terdiri atas alasan terkait perubahan penetapan nilai pembatas dosis harus disertai dengan akar penyebab dan rencana tindak lanjutnya. Hasil kaji ulang ini jugahendaknya dicantumkan dalam dokumen PPKR dan diajukan kembali kepada Kepala BAPETEN dengan tata cara yang sama sebagaimana diuraikan dalam butir 2.a).

Dalam hal komitmen untuk menerapkan konsep pembatas dosis di fasilitas kesehatan, fasilitas harus mendokumentasikan tiap proses yang terkait dan mengendalikan rekaman yang dihasilkan, diantaranya adalah:

- Program proteksi dan keselamatan radiasi revisi terkini.
- Prosedur penentuan dan kaji ulang pembatas dosis.
- Kartu dosis pekerja radiasi pada kurun waktu tertentu.
- Kartu dosis pekerja radiasi untuk kegiatan tertentu, misalnya komisioning dan lainnya.
- Rekaman pengolahan data dosis pekerja untuk penetapan pembatas dosis.
- Hasil kaji ulang pembatas dosis.
- Rekaman dosis pekerja dalam kondisi kedaruratan atau tanggap darurat.

Rekaman di atas merupakan data primer dan sekunder yang penting untuk disimpan secara memadai guna menjaga ketertelusuran ke sumber data.

Hal yang tidak kalah penting untuk diperhatikan dalam penerapan pembatas dosis ini adalah ketepatan dalam penanganan dosimeter personal di fasilitas, dalam makalah ini dosimeter personal yang digunakan dalam survey adalah TLD. Analisis mengenai profil dosis pekerja radiasi yang akan digunakan dalam penentuan dan penerapan

pembatas dosis di suatu fasilitas sangat erat kaitannya dengan ketersediaan dan kelengkapan serta keakuratan data dosis pekerja yang direkam oleh PPR. Dalam hal keakuratan hasil evaluasi pembacaan TLD, besarnya bacaan dosis dari TLD dipengaruhi oleh banyak aspek, diantaranya adalah arah datangnya paparan radiasi, masa pakai TLD, jeda waktu antara penerimaan dosis radiasi dan pembacaan TLD, besarnya paparan radiasi latar yang diterima oleh TLD kontrol, kondisi lingkungan tempat penyimpanan TLD, keandalan TLD reader dan lainnya. Beberapa hal teknis tersebut berkontribusi dalam komponen ketidakpastian pengukuran sehingga menyebabkan keakuratan hasil menjadi kurang memadai. Namun demikian, laboratorium dosimetri telah disyaratkan untuk mampu melakukan evaluasi pembacaan dosimeter dengan ketidakpastian pengukuran yang besarnya kurang dari 30% sebagaimana disebutkan dalam Perka BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 [13] Pasal 32.

Selain kontribusi faktor teknis dalam evaluasi dosis oleh laboratorium dosimetri, penanganan TLD di fasilitas juga dapat memengaruhi keakuratan hasil evaluasi pembacaan TLD. PPR sebagai personil yang bertugas sebagai penyelenggara keselamatan radiasi di fasilitas hendaknya mengendalikan dan mendokumentasikan pengelolaan TLD dalam hal:

- Penyimpanan TLD secara benar saat tidak digunakan untuk bekerja. Fasilitas harus menentukan area/lokasi penyimpanan TLD badge (baik TLD kerja maupun TLD kontrol). Area ini harus berada di bagian fasilitas dimana level radiasinya adalah *background*, sehingga tidak berpotensi untuk menangkap paparan dari sumber radiasi.
- Kepatuhan pekerja radiasi dalam penggunaan/pemakaian TLD dengan posisi yang benar.
- Kepatuhan fasilitas dalam pengiriman TLD secara tepat waktu untuk keperluan evaluasidosis di laboratorium dosimetri.

KESIMPULAN

- a) Pembatas dosis merupakan *tool* yang praktis untuk memantau optimisasi penerapan proteksi radiasi di fasilitas kesehatan pengguna radiasi pengion dan penerapan pembatas dosis merepresentasikan pemenuhan terhadap aspek budaya keselamatan.
- b) Penetapan pembatas dosis dapat dilakukan dengan pendekatan konservatif yaitu dengan memanfaatkan data dosis tahunan pekerja radiasi tahap operasional.
- c) Skenario dalam metode penetapan pembatas dosis dapat melalui pertimbangan masa operasional suatu fasilitas dan status/situasi izin suatu fasilitas.
- d) Olah data dosis tahunan pekerja pada kurun waktu tertentu dapat memberikan hasil yang

dinamis bergantung pada situasi dan kondisi fasilitas, pada beberapa kondisi tertentu dibutuhkan *metode cut-off* untuk menentukan pembatas dosis yaitu sebesar 1 mSv/tahun.

- e) Implementasi dari penetapan pembatas dosis tahap operasional harus dipantau melalui kaji ulang rutin dengan periode 2 (dua) kali masa berlaku izin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada:

- Tim Pengkaji bidang kesehatan di P2STPFRZR yang telah berkontribusi dalam survey tahun 2017 guna mengumpulkan data sekunder,
- Para pakar yang telah menyumbang ide dan saran teknis sesuai bidang ilmu terkait makalah, dan
- Rumah Sakit sebagai responden survey data dosis pekerja radiasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [36] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Jakarta, Indonesia.
- [37] BAPETEN (2012), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 17 Tahun 2012 tentang Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir.
- [38] BAPETEN (2013), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 3 Tahun 2013 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Radioterapi
- [39] BAPETEN (2011), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-X Radiologi Diagnostik dan Intervensional.
- [40] IAEA (2011), Safety Standards Series, GSR Part 3, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, Vienna, Austria.
- [41] PCRPPH-NEA (2011), Dose constraints – Dose Constraints in Optimization of Occupational Radiation Protection and Implementation of the Dose Constraint Concept into Radiation Protection Regulations and Its Use in Operator’s Practices, Paris.
- [42] IAEA (1999), Safety Standard Series, RS-G-1.1, Occupational Radiation Protection, Vienna, Austria.
- [43] IAEA (2014), Tecdoc-1735, The Information System on Occupational Exposure in Medicine, Industry and Research (ISEMIR): Interventional Cardiology, Vienna, Austria.
- [44] Fennel, Stephen (2011), Survey On The Use Of Dose Constraints And Reference Levels Made In The Context Of The European ALARA Network. ICRP Symposium on the International System of Radilological Protection.
- [45] Kunarsih. E (2017), Penetapan Pembatas Dosis Dan Peranannya Dalam Upaya Optimisasi Proteksi Radiasi Bagi Pekerja Radiasi Di Fasilitas Kedokteran Nuklir, Jakarta.
- [46] ICRP (2007), Publication 103 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press.
- [47] BAPETEN (2008), Peraturan Pemerintah Nomor 29 Tahun 2009 tentang Perijinan Pemanfaatan Sumber Radiasi Pengion Dan Bahan Nuklir, Jakarta.
- [48] BAPETEN (2015), Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2015 tentang Laboratorium Dosimetri Eksterna, Jakarta.