

KENDALI KUALITAS DAN JAMINAN KUALITAS PESAWAT RADIOTERAPI BIDIKAN BARU LABORATORIUM METROLOGI RADIASI

Gatot Wurdianto dan Susetyo Trijoko

Laboratorium Metrologi Radiasi

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN
Jl. Cinere Pasar Jumat, Kotak Pos 7043 JKSKL, Jakarta 12070
Telp. (021) 7513906, 7654241, Fax : (021) 7657950, 7654184

PENDAHULUAN

Salah satu tugas pokok dari Sub Bidang Kalibrasi di Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional adalah melakukan pengukuran luaran berkas radiasi dari pesawat teleterapi yang mempunyai rumah sakit-rumah sakit di Indonesia. Data ini sangat diperlukan sebagai standar dalam melakukan penyinaran terhadap pasien dengan tingkat akurasi tinggi dan tertelusur dalam sistim internasional. Sesuai peraturan yang berlaku di Indonesia, PP Nomor 63 tahun 2000 (Bab V pasal 30)^[1,2], SK Dirjen BATAN No. 84/DJ/VI/1991^[3] dan SK Ka. Bapeten No.21/Ka.BAPETEN/XII-02 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi^[4], mengatakan bahwa keluaran sumber radiasi terapi harus dikalibrasi sekurang-kurangnya sekali dalam 2 (dua) tahun oleh Fasilitas Kalibrasi Tingkat Nasional. Selain itu dalam pasal 5 (g) SK. Dirjen BATAN No. 84/DJ/VI/1991, dikatakan bahwa luaran sumber radiasi terapi harus diukur oleh pemegang ijin sekurang-kurangnya sekali dalam 1(satu) bulan untuk pesawat sinar-X atau akselerator linier dan sekurang-kurangnya sekali dalam 6 (enam) bulan untuk sumber terapi ^{60}Co atau ^{137}Cs . Tujuan dari pengukuran termaktub dalam pasal 5 (g) adalah sebagai salah satu fungsi kendali kualitas dan jaminan kualitas ^[5]. Selain itu pengukuran ini

dimaksudkan untuk mengetahui secara dini tentang kondisi dari pesawat radioterapi tersebut.

Beberapa rumah sakit di Indonesia ada yang tertib dalam melakukan tindakan kendali kualitas dan jaminan kualitas, tetapi ada beberapa pula yang belum melakukan apa-apa meskipun mempunyai peralatan yang memadai untuk melakukan pengukuran-pengukuran tersebut di atas. Hal ini kemungkinan disebabkan kurangnya pengetahuan, perhatian dan kesadaran dari pihak pemilik pesawat radioterapi ataupun kurangnya komitmen untuk melakukan kendali kualitas dan jaminan kualitas terhadap peralatan tersebut.

Menyadari kondisi tersebut di atas, Laboratorium Metrologi Radiasi yang merupakan ujung tombak terdepan di Indonesia dalam masalah pengukuran keluaran sumber radiasi siap membantu para pemilik pesawat teleterapi untuk melakukan kendali kualitas maupun jaminan kualitas terhadap sumber radiasi terapi. Dengan peralatan yang teruji, sumber daya manusia yang cukup terlatih serta pengalaman di lapangan yang cukup lama maka Lab. Metrologi Radiasi yang merupakan Laboratorium Acuan Tingkat Nasional cukup mampu dan layak untuk memberi bantuan berupa bimbingan, penyuluhan dan pengukuran.

Kesalahan Dosis, Siapa korban nya ?

Pemanfaatan suatu teknologi mempunyai dampak positif maupun negatif. Dampak negatif akan muncul bila melakukan tindakan diluar prosedur yang berlaku. Dampak negatif terburuk adalah terjadinya kecelakaan. Beberapa kasus kecelakaan radiasi yang terkait dengan pesawat teleterapi telah terjadi di belahan dunia ini termasuk di Indonesia. Kecelakaan merupakan kejadian tak disengaja termasuk kesalahan operasi, kegagalan alat atau kecelakaan kecil yang konsekwensinya tidak dapat diabaikan dari segi proteksi dan keselamatan radiasi. Kecelakaan radiasi yang berkaitan dengan peralatan radioterapi antara lain :

1. **Ketidaktepatan dosis pada pasien.** Dosis yang berlebih maupun dosis yang kurang merupakan kecelakaan radiasi. Dalam buku “*Technical Report Series No. 277*” terbitan *International Atomic Energy Agency*, tahun 1987, disebutkan bahwa penyimpangan keluaran pesawat radioterapi tidak boleh lebih dari 5 %^[6,7]. Dosis yang berlebih menyebabkan sel-sel lain yang bukan sel kanker akan ikut mati akibat dari penyinaran tersebut, sedangkan dosis yang kurang tidak akan mengakibatkan sel kanker mati sebaliknya kemungkinan akan menyebabkan bertambahnya sel kanker. Pada kasus ini sang pasienlah yang menjadi korbannya.
2. **Overexposure (dosis penyinaran berlebih) pada pekerja radiasi (operator).** Kecelakaan seperti ini biasanya terjadi akibat tidak mengikuti prosedur yang telah ditetapkan. Seperti, pada saat sumber macet sang operator tidak melakukan survey terlebih dahulu saat akan melakukan perbaikan.
3. **Kecelakaan Radiasi pada masyarakat umum dan lingkungan.** Kecelakaan jenis ini dapat terjadi bila pengelolaan sumber bekas atau limbah radioaktif tidak dilakukan sesuai ketentuan yang berlaku.

Beberapa kasus kecelakaan radiasi yang berkaitan dengan pesawat radioterapi pernah terjadi di berbagai belahan dunia termasuk di Indonesia. Kecelakaan radiasi dengan korban terbesar (tercatat 13 orang meninggal akibat radiasi, 21 orang meninggal akibat penyakitnya dan 8 orang tidak teranalisis) terjadi di Costa Rica pada tahun 1996. Kecelakaan berawal dari pergantian sumber radiasi ⁶⁰Co dimana pada saat dilakukan kalibrasi terjadi kesalahan dalam menghitung laju dosis. Hal ini berakibat fatal karena pasien menerima dosis jauh lebih besar (50% sampai dengan 60%) dari dosis yang diperkirakan^[8,9,10]. Di Indonesia tercatat 3 kasus kecelakaan radiasi, yaitu 2 (dua) kasus berkenaan dengan pesawat Brakiterapi dengan tanpa adanya korban meninggal dunia dan 1 (satu) kasus berkenaan dengan pesawat Radioterapi LINAC (*Linear Accelerator*) dengan seorang pasien meninggal dunia^[8]. Kasus dengan pesawat LINAC pada tahun 1998, berawal dari berkas radiasi yang tidak keluar saat akan menyinari pasien. Sang operator berusaha mengecek teknik penyinaran dengan mengatur *energy selector* tanpa memindahkan/mengamankan pasien dan melakukan pengukuran paparan radiasinya. Saat itulah terjadi penyinaran tanpa kendali sehingga sang pasien menjerit karena merasa panas yang amat sangat. Sang pasien mengalami luka bakar pada lengan dan dada sebelah kiri akibat menerima dosis yang berlebihan dari berkas elektron. Kondisi pasien semakin kritis dan akhirnya meninggal pada Mei 1998^[8].

Berdasar dari laporan IAEA dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) (khusus untuk kecelakaan di Indonesia) disimpulkan bahwa kecelakaan radiasi itu pada umumnya disebabkan oleh beberapa hal antar lain :

- Sumber radiasi bekas tidak dikelola dengan semestinya sehingga lepas dari pengawasan
- Keluaran radiasi tidak dikalibrasi sebagaimana mestinya
- Perawatan alat tidak dilakukan dengan baik.
- Tidak mengikuti prosedur kerja
- Tidak menggunakan alat monitor radiasi

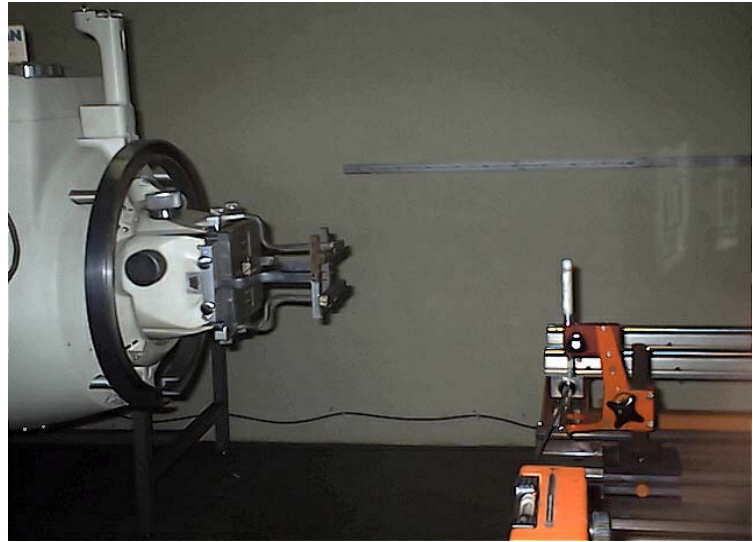
- Alat monitor radiasi tidak berfungsi.

Perlakuan terhadap Pesawat Teleterapi

Keberadaan pesawat radioterapi dirasa sangat menguntungkan dan memberikan harapan bagi pasien kanker untuk sembuh dengan biaya yang relatif murah. Namun merupakan kecelakaan besar jika aturan-aturan dan ketentuan-ketentuan yang menyertainya tidak diterapkan secara disiplin. Beberapa peraturan dan ketentuan bagi kepemilikan pesawat radioterapi antara lain :

1. Mempunyai sarana gedung dengan konstruksi yang memadai
2. Mempunyai izin pemanfaatan
3. Mempunyai Sumber Daya Manusia (dokter spesialis radiasi onkologi, operator, petugas proteksi radiasi, fisika medik) yang memadai.
4. Mempunyai catatan dosis penerimaan dan riwayat kesehatan pekerja radiasi
5. Memiliki alat ukur radiasi (*surveymeter*) dan alat ukur dosis luaran yang terkalibrasi secara periodik dan sesuai.
6. Mempunyai sertifikat kalibrasi luaran pesawat radioterapi yang masih berlaku.
7. Memiliki program jaminan kualitas dan pemeriksaan keselamatan
8. Memiliki sistim *interlock*
9. Memiliki program penanggulangan keadaan darurat.
10. Memiliki dosimeter personal untuk pekerja radiasi.

Aspek keselamatan dan dosimetri dari pesawat teleterapi umumnya tergantung pada parameter keselamatan, mekanis dan dosimetri. Variasi mungkin bias terjadi pada parameter tersebut di atas karena perubahan mekanik atau elektronik. Program kendali kualitas harus



Gambar 1. Pesawat Radioterapi ^{60}Co



Gambar 2. Pesawat Radioterapi LINAC

dilakukan melalui berbagai pendekatan, misalnya dikaitkan dengan jadwal operasi normal atau dengan jadwal perawatan *preventive* rutin. Program jaminan kualitas harus mencakup prosedur untuk mengevaluasi efektivitas perisai radiasi sekitar unit teleterapi. Fisikawan medik harus melakukan *survey* proteksi secara cermat pada saat instalasi unit teleterapi.

Pengecekan harian biasanya dikaitkan dengan waktu pemanasan pesawat dan dilakukan setiap hari sebelum mulai penyinaran pasien oleh teknolog. Pengecekan secara komprehensif (termasuk kalibrasi dosis) harus dilakukan oleh fisikawan medik dengan frekuensi lebih rendah.

Guna mempertahankan tingkat kualitas dan konsistensi kinerjanya, pesawat radioterapi membutuhkan jaminan kualitas seumur hidup.

Program jaminan kualitas harus menjamin bahwa pesawat radioterapi bekerja sesuai dengan spesifikasinya dan pesawat aman digunakan baik terhadap pasien, pekerja radiasi maupun lingkungannya. Beberapa parameter yang perlu dilakukan uji baik secara harian, bulanan maupun tahunan pesawat Radioterapi Co-60 dalam rangka program jaminan kualitas tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Kendali Kualitas Pesawat Radioterapi ⁶⁰Co [5]

Parameter	Toleransi	Frekwensi
a. Keselamatan		
- <i>Interlock</i> pintu	Berfungsi	Harian
- Pemantau audio-visual	Berfungsi	- ,, -
- Pemantau radiasi	Berfungsi	- ,, -
b. Mekanis		
- Laser	2 mm	- ,, -
- Indikator Jarak	2 mm	- ,, -
- Pemeriksaan posisi sumber	3 mm	Mingguan
c. Dosimetri		
- Ketetapan luaran	2 %	Bulanan
- Keseragaman berkas cahaya dan medan radiasi	3 mm	- ,, -
- Indikator ukuran medan (<i>collimator setting</i>)	2 mm	- ,, -
- Indikator sudut <i>gantry</i> dan kolimator	1 °	- ,, -
- Pemusatan <i>cross hair</i>	2 mm	- ,, -
- Pengencang kunci, baki	Berfungsi	- ,, -
- Interlock keselamatan	Berfungsi	- ,, -
- Tombol darurat untuk mematikan pesawat	Berfungsi	- ,, -
- Ukuran medan yang bergantung pada tetapan luaran	2 %	Tahunan
- Ketetapan parameter dosimetri sumbu pusat (PDD)	2 %	Sda
- Ketetapan faktor transmisi untuk semua asesori	2 %	Sda
- Ketetapan faktor transmisi <i>wedge</i>	2 %	Sda
- Linieritas dan kesalahan pengukur waktu	1 %	Sda
- Ketetapan luaran vs sudut <i>gantry</i>	2 %	Sda
- Keseragaman cahaya vs sudut <i>gantry</i>	3 %	Sda
- Pengukuran titik di luar sumbu dengan dan tanpa <i>wedge</i>	3 %	Sda
- <i>Isocenter</i> rotasi kolimator	Φ 2 mm	Sda
- <i>Isocenter</i> rotasi <i>gantry</i>	Φ 3 mm	Sda
- <i>Isocenter</i> rotasi <i>couch</i>	Φ 2 mm	Sda
- Keseragaman kolimator, <i>gantry</i> , sumbu <i>couch</i> dengan <i>isocenter</i>	Φ 2 mm	Sda
- Keseragaman <i>isocenter</i> radiasi dan mekanis	Φ 2 mm	Sda
- Penurunan meja dengan massa 80 kg yang terdistribusi merata	5 mm	Sda
- Pergerakan meja secara vertical	2 mm	Sda

PENUTUP

Mempelajari penyebab-penyebab kecelakaan radiasi selama ini yang berkaitan dengan pesawat radioterapi serta berdasar rekomendasi dari badan atom internasional (IAEA), maka kendali kualitas dan jaminan kualitas menjadi palang pintu terdepan dalam mencegah terjadinya kecelakaan radiasi pada pemanfaatan pesawat radioterapi. Hal ini sesuai dengan aturan yang telah dibakukan baik oleh IAEA maupun Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk tingkat Nasional.

Pengendalian-kaji ulang, dan evaluasi secara periodik terhadap dokumen dan catatan harus dilakukan dalam rangka menjaga efektivitas pelaksanaan program jaminan kualitas. Tindakan koreksi untuk memperbaiki adanya kekurangan yang teridentifikasi dalam program jaminan kualitas akan menjaga standar layanan terbaik di unit radioterapi. Keberhasilan pelaksanaan program jaminan kualitas menjamin bahwa layanan yang diberikan oleh unit radioterapi akan memberi manfaat terbesar kepada pasien. Disamping itu juga akan memberikan kenyamanan, kepuasan, dan mungkin kebanggaan kepada personil yang bekerja di unit radioterapi. Lebih jauh, mungkin dapat menghemat biaya, karena program jaminan kualitas dapat memperkecil kemungkinan terjadinya kegagalan dan dapat menghemat waktu.

Dalam peraturan yang berlaku disebutkan bahwa tanggung jawab pelaksanaan jaminan kualitas dibagi antara fisikawan, dosimetris dan operator^[11] namun demikian, mengingat masih ada sebagian pemilik pesawat radioterapi yang belum menerapkan program jaminan kualitas secara menyeluruh maka Laboratorium Metrologi Radiasi yang merupakan Laboratorium Acuan Tingkat Nasional siap membantu dalam melakukan program jaminan kualitas. Hal ini dilakukan semata-mata demi keselamatan kita bersama.

DAFTAR PUSTAKA

1. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan Terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.
3. Surat Keputusan Dirjen Badan Tenaga Atom Nasional Nomor 84/DJ/VI/1991 tentang Kalibrasi Alat Ukur Radiasi dan Keluaran Sumber Radiasi, Standardisasi Radionuklida, dan Fasilitas Kalibrasi.
4. Surat Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 21/Ka-BAPETEN/XII-2002 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi.
5. American Association of Physicists in Medicine, Comprehensive QA for Radiation Oncology; Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group-40, Medical Physics. 21 (1994) 581- 618.
6. International Atomic Energy Agency, Technical Report Series No. 277 tahun 1987.
7. International Commission on Radiological Units and Measurement, Determinations of absorbed dose in a patient irradiated by beam of X or gamma rays in radiotherapy procedures. Washington, DC, 1976.
8. TOGAP MARPAUNG, Kecelakaan yang Terkait Dengan Peralatan Radioterapi, Seri Informasi Keselamatan Radiasi, Badan Pengawas Tenaga Nuklir, tahun 2000
9. International Atomic Energy Agency, Bulletin Vol. 41, No. 3, Vienna, 1993.
10. International Atomic Energy Agency, Accident Overexposure of Radiotherapy Patient in San Jose, Costa Rica, Vienna, 1998.
11. PURDY, J.A., Quality Assurance of Electron Linear Accelerators, Proceedings of Symposium on Quality Assurance of Radiotherapy Equipment, AAPM Symposium Proceedings, No.3, American Institute of Physics, New York, 1983.

DAFTAR ISTILAH

1. **Badan Pelaksana** adalah Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).
2. **Badan Pengawas** adalah Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN).
3. **Pengusaha Instalasi Nuklir** adalah orang perseorangan atau badan hukum yang bertanggungjawab dalam pengoperasian instalasi nuklir.
4. **Instalasi Radiasi** adalah instalasi zat radioaktif dan/atau instalasi sumber radiasi pengion.
5. **Instalasi Nuklir** adalah (a). Reaktor Nuklir, (b). Fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir dan/atau pengolahan ulang bahan bakar nuklir bekas, dan/atau (c). Fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan bakar nuklir bekas.
6. **Ketenaganukliran** adalah hal yang berkaitan dengan pemanfaatan, pengembangan dan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir serta pengawasan kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir.
7. **Tenaga Nuklir** adalah tenaga dalam bentuk apapun yang dibebaskan dalam proses transformasi inti, termasuk tenaga yang berasal dari sumber radiasi pengion.
8. **Dosis Radiasi** adalah jumlah radiasi yang terdapat dalam medan radiasi atau jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi yang dilaluinya.
9. **Nilai Batas Dosis** adalah dosis terbesar yang diizinkan oleh Badan Pengawas yang dapat diterima oleh pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam jangka waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik yang berarti akibat pemanfaatan tenaga nuklir.
10. **Keselamatan Radiasi** adalah upaya yang dilakukan untuk menciptakan kondisi yang sedemikian agar efek radiasi pengion terhadap manusia dan lingkungan hidup tidak melampaui nilai batas yang ditentukan.
11. **Pekerja Radiasi** adalah setiap orang yang bekerja di instalasi nuklir atau instalasi radiasi pengion yang diperkirakan menerima dosis radiasi tahunan melebihi dosis untuk masyarakat umum.
12. **Petugas Proteksi Radiasi** adalah petugas yang ditunjuk oleh pengusaha instalasi nuklir atau instalasi lainnya yang memanfaatkan radiasi pengion yang dinyatakan mampu oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk melaksanakan pekerjaan yang berhubungan dengan persoalan proteksi radiasi.
13. **Radiasi Pengion** adalah gelombang elektromagnetik dan partikel bermuatan yang karena energi yang dimilikinya mampu mengionisasi media yang dilaluinya.
14. **Kecelakaan Nuklir** adalah setiap kejadian atau rangkaian kejadian yang menimbulkan kerugian nuklir
15. **Kecelakaan Radiasi** adalah kejadian yang tidak direncanakan termasuk kesalahan operasi, kerusakan ataupun kegagalan fungsi alat atau kejadian lain yang menjurus timbulnya dampak radiasi kondisi paparan radiasi dan atau kontaminasi yang melampaui batas keselamatan.
16. **Daerah Pengawasan** adalah daerah yang berada di bawah pengawasan yang memadai untuk tujuan proteksi terhadap radiasi pengion.
17. **Daerah Pengendalian** adalah daerah yang berada di bawah aturan khusus yang dimaksudkan untuk tujuan proteksi terhadap radiasi pengion dan yang lalu lintasnya dikendalikan.
18. **Radioisotop** adalah isotop yang mempunyai kemampuan untuk memancarkan radiasi pengion.
19. **Zat Radioaktif** adalah setiap zat yang memancarkan radiasi pengion dengan ektivitas jenis lebih besar dari pada 70 kBq/kg (2nCi/g).
20. **Pemanfaatan** adalah kegiatan yang berkaitan dengan tenaga nuklir yang meliputi penelitian, pengembangan, penambangan, pembuatan, produksi, pengangkutan, penyimpanan, pengalihan, ekspor, impor, penggunaan, dekomisioning dan pengelolaan limbah radioaktif untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat.

Bersambung ke hal124