

OPTIMASI ASPEK KESELAMATAN PADA KALIBRASI PESAWAT RADIOTERAPI

Gatot Wurdianto dan C. Tuti Budiantari

Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN

- Jalan Cinere Pasar Jumat, Jakarta – 12440
- PO Box 7043 JKSKL, Jakarta – 12070

PENDAHULUAN

Radioterapi merupakan suatu metode pengobatan penyakit kanker atau tumor yang menggunakan teknik penyinaran dari zat radioaktif maupun radiasi pengan lainnya. Tujuan radioterapi adalah untuk mendapatkan tingkatan sitotoksik radiasi terhadap *planning target volume* pasien, dengan seminimal mungkin pajanan (*exposure*) radiasi terhadap jaringan sehat dan di sekitarnya. Pesawat radioterapi adalah pesawat yang digunakan untuk melakukan terapi yang didalamnya terdapat sumber radiasi baik sumber ^{60}Co maupun ^{137}Cs . Dengan keberadaan sumber radiasi tersebut, maka keselamatan baik pekerja maupun pasien memerlukan perhatian yang sangat penting agar tujuan dari penggunaan radioterapi tersebut terwujud tanpa menimbulkan masalah baru.

Dewasa ini, lebih dari 18 rumah sakit di Indonesia dengan sekitar 19 pesawat radioterapi ^{60}Co maupun ^{137}Cs memanfaatkan radioterapi sebagai metode pengobatan penyakit kanker atau tumor. Berdasar pada peraturan yang berlaku di Indonesia, yakni PP Nomor 63 tahun 2000 (Bab V pasal 30)^[1], SK Dirjen BATAN No.84/DJ/VI/1991^[2] dan SK Ka. Bapeten No.21/Ka. BAPETEN/XII-02 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi^[3], mengatakan bahwa keluaran sumber radiasi terapi harus dikalibrasi sekurang-kurangnya sekali dalam 2 (dua) tahun oleh Fasilitas Kalibrasi Tingkat Nasional (FKTN). Untuk itu Laboratorium Metrologi Radiasi (LMR) selaku Fasilitas Kalibrasi Tingkat Nasional agar dapat memberikan pelayanan yang prima menyangkut

masalah kualitas serta aspek keselamatan dari penggunaan dan pemanfaatan metode radioterapi.

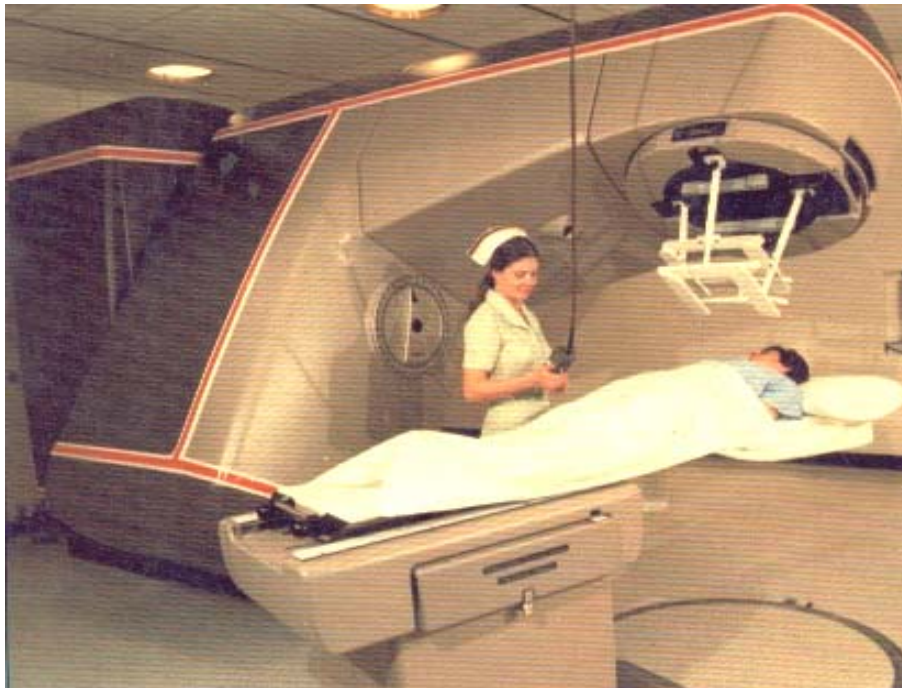
Aspek keselamatan yang menyangkut penggunaan dan pemanfaatan pesawat radioterapi meliputi keselamatan saat penyinaran terhadap pasien dan pemeliharannya, serta pada saat pesawat tersebut dikalibrasi oleh FKTN. Aturan keselamatan terhadap fasilitas radioterapi yang menyangkut pasien, pekerja, peralatan dan lingkungan telah tercantum dalam SK Ka. Bapeten No.21/Ka. BAPETEN/XII-02 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi^[3] dan rekomendasi Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) melalui *Basic Safety Standards*^[4]. Pada tulisan ini akan dipaparkan aspek keselamatan pada saat melakukan kalibrasi terhadap pesawat radioterapi ^{60}Co ataupun ^{137}Cs . Hal ini diperlukan mengingat pekerjaan kalibrasi sangat membutuhkan konsentrasi tinggi dengan rentang waktu yang cukup lama agar tidak menimbulkan masalah terhadap pesawat, pekerja maupun keselamatan lingkungannya.

Tujuan dari penulisan ini untuk mendapatkan prosedur baku keselamatan dalam melakukan kalibrasi terhadap pesawat radioterapi ^{60}Co atau ^{137}Cs sehingga didapatkan optimasi antara aspek keselamatan dan faktor non teknis yang timbul saat melakukan kalibrasi.

**PROSEDUR KALIBRASI PESAWAT
RADIOTERAPI ^{60}Co dan ^{137}Cs**

Tujuan dilakukan kalibrasi adalah menetapkan luaran pesawat Radioterapi ^{60}Co atau

^{137}Cs yang tertelusur ke sistim internasional (SI). Pelaksanaan kalibrasi meliputi beberapa tahapan, yaitu : persiapan, pengukuran luaran, pengukuran ISIS TPS (*Treatment Planning System*) dan



Gambar 1. Pesawat Radioterapi.



Gambar 2. Alat Ukur Standar Dosimeter Farmer

pembuatan laporan (sertifikasi).

Pada tahap persiapan dilakukan pengkondisian alat standar agar terjadi kesetimbangan elektronik sehingga gangguan yang mempengaruhi bacaan sebagai akibat perpindahan tempat (lingkungan) sangat kecil. Selanjutnya dilakukan pemanasan alat ukur standar (tanpa detektor) selama 15 (lima belas) menit. Berikutnya dilakukan pengukuran *zero drift* dengan dan tanpa detektor. Kemudian dilakukan uji kebocoran muatan atau arus dan uji kebocoran muatan atau arus pasca iradiasi. Persiapan diakhiri dengan melakukan uji stabilitas respon detektor^[5].

Tahap pengukuran dimulai dengan melakukan pengecekan kesesuaian lapangan cahaya dengan lapangan/berkas radiasi. Selanjutnya dilakukan pemanasan terhadap detektor bilik pengion dengan memberi iradiasi sekitar 2 Gy. Berikutnya dilakukan pengecekan kesalahan pewaktu (*timer*) pesawat dan pengukuran faktor rekombinasi ion. Hal ini diperlukan untuk mengetahui berapa perbedaan *timer* pesawat terhadap *timer* sesungguhnya yang terdapat pada alat standar. Tahap utama pengukuran adalah menentukan luaran pesawat terapi tanpa *tray* dengan menggunakan fantom air yang ditempatkan di atas meja pasien dengan kedalaman di air 5 cm dan jarak sumber ke

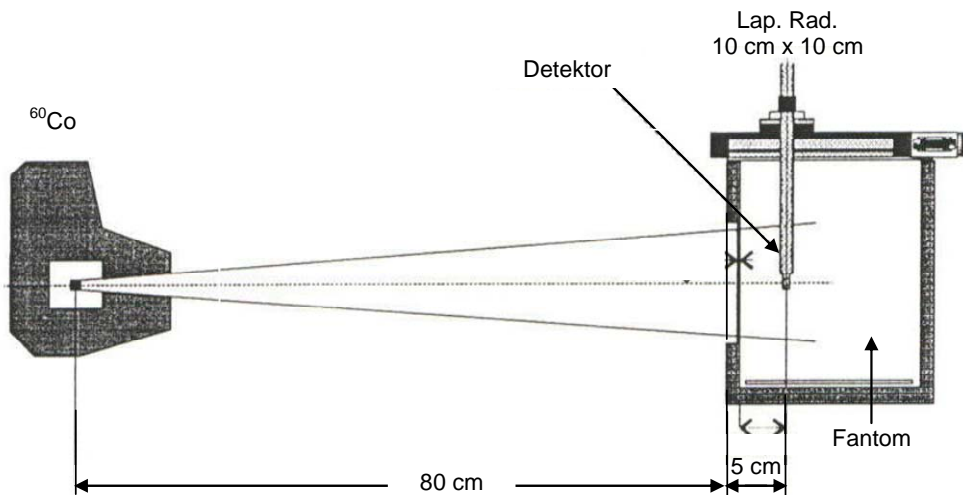
permukaan air tertentu (biasanya 80 cm untuk ⁶⁰Co atau 60 cm untuk ¹³⁷Cs) dan luas lapangan radiasi 10cmx10cm. Waktu penyinaran 1 menit *timer* pesawat dengan pengulangan 3 (tiga) kali. Variasi pengukuran adalah lapangan radiasi, dengan/tanpa *tray*, jenis *wedge* (sudut kemiringan dan lapangan radiasi) dan lain-lain.

Pengukuran *ISIS Treatment Planning System*, dilakukan untuk memenuhi tuntutan perkembangan teknologi pada penggunaan/pemanfaatan radioterapi. Dengan teknologi komputer, data Isis TPS digunakan sebagai kendali kualitas sehingga didapatkan nilai dosimetrik yang akurat. Variasi data yang diperlukan adalah lapangan radiasi.

Sertifikasi adalah kegiatan dari penghitungan nilai luaran, analisa, pemeriksaan, pembuatan *draft* sertifikat kemudian pembuatan sertifikat.

BEBERAPA ASPEK NON TEKNIS SAAT KALIBRASI

Sederetan perlakuan yang harus dikerjakan saat melakukan kalibrasi pesawat radioterapi ⁶⁰Co seperti ditulis pada sesi sebelumnya, cukup memakan waktu yang lama. Untuk kondisi normal, artinya tanpa adanya gangguan teknis dari peralatan, pada tahap persiapan memerlukan



Gambar 3. Skema Pelaksanaan Kalibrasi Pesawat Radioterapi Co-60.

waktu sekitar 8 jam; sedangkan pada tahap pengukuran untuk variasi tunggal diperlukan waktu sekitar 2 sampai 3 jam. Seluruh rumah sakit pemilik pesawat radioterapi akan memanfaatkan seluruh variasi yang ada, diantaranya *tray*, *wedge* dan lapangan radiasi. Untuk *setting* utama membutuhkan waktu sekitar 1 – 2 jam. Khusus untuk pengukuran data ISIS TPS, diperlukan waktu sekitar 6 – 8 jam. Sehingga total pengerjaan efektif sekitar 18 jam, hal ini belum termasuk waktu yang diperlukan untuk merubah luas lapangan radiasi, penggantian *tray* dan *wedge* serta menggeser kedudukan detektor.

Berbagai jenis variasi pengukuran (*tray*, *wedge*, luas lapangan radiasi dan data *ISIS TPS*) ada sekitar 500 kondisi yang perlu dilakukan pengukuran. Setiap pengukuran si pelaksana kalibrasi harus berada di luar ruang pesawat. Dengan jumlah pelaksana kalibrasi 3 (tiga) orang, maka pekerjaan ini benar-benar membutuhkan konsentrasi, energi dan kesabaran yang tinggi dari si pelaksana.

Berbagai aspek non teknis yang dapat timbul saat melakukan kalibrasi adalah :

- Kelelahan
- Mengantuk
- Hilangnya konsentrasi (tidak fokus)
- *Stress*
- Jenuh

Aspek non teknis tersebut di atas memang dapat muncul pada setiap lapangan pekerjaan. Namun pekerjaan di bidang pemanfaatan teknologi nuklir, hal tersebut harus diatasi sebaik-mungkin, karena dampak yang ditimbulkan sangat besar.

SISTIM KEAMANAN & KESELAMATAN PESAWAT RADIOTERAPI

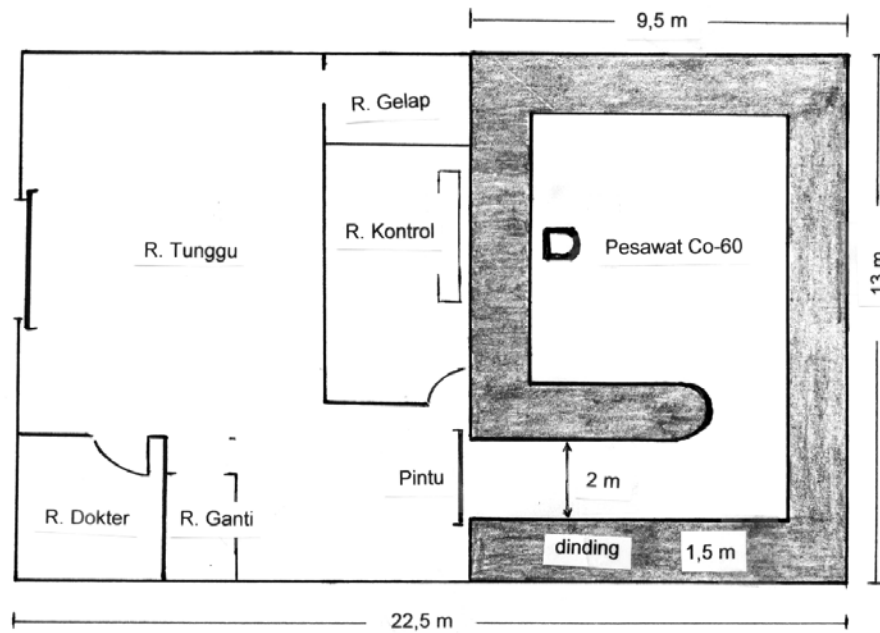
Sistem keamanan dan keselamatan Radiasi pada pesawat radioterapi ditetapkan oleh IAEA dalam *Basic Safety Standard* (BSS) ^[4] dan parameter-parameter yang diperlukan dalam

kendali kualitas pesawat telah dimuat dalam Buletin Alara volume 6 Nomor 2 ^[7]. Namun beberapa parameter yang berhubungan dengan sistem keamanan dan keselamatan radiasi pada saat dilakukan kalibrasi adalah adanya *interlock* pada pintu, pemantau audio-visual, pemantau radiasi, *interlock* keselamatan dan tombol darurat untuk mematikan pesawat.

OPTIMASI KESELAMATAN SAAT KALIBRASI

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 63 tahun 2000, tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap pemanfaatan radiasi pengion yang mengacu pada ketentuan yang diterbitkan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) dan rekomendasi yang dikeluarkan oleh Komisi Internasional tentang Proteksi Radiasi (*International Commission on Radiological Protection, ICRP*), sistem pembatasan dosis untuk setiap kegiatan yang dapat mengakibatkan penerimaan dosis oleh seseorang direkomendasikan berdasarkan pada 3 (tiga) asas yaitu : justifikasi (*justification of practices*), limitasi (*dose limitation*) dan optimasi (*optimization of protection and safety*). Asas justifikasi hanya boleh dilakukan apabila menghasilkan keuntungan yang lebih besar kepada seseorang yang terkena penyinaran radiasi atau bagi masyarakat, dibandingkan dengan kerugian radiasi yang mungkin diakibatkannya, dengan memperhatikan faktor sosial, faktor ekonomi dan faktor lainnya yang sesuai. Asas limitasi membatasi penerimaan dosis seseorang untuk tidak boleh melebihi/melampaui Nilai Batas Dosis yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Asas Optimasi perlu dan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga besarnya dosis yang diterima seseorang dan jumlah orang yang tersinari sekecil mungkin dengan memperhatikan faktor sosial dan ekonomi.

Berdasar dari ketentuan tersebut di atas, optimasi keselamatan pada saat melakukan kalibrasi terhadap pesawat teleterapi ⁶⁰Co



Gambar 4. Bagan ruang pesawat radioterapi^[7].

maupun ^{137}Cs mengacu pada ketiga asas tersebut di atas sehingga dapat diperoleh petunjuk pelaksanaan kalibrasi pesawat terapi ^{60}Co dan ^{137}Cs yang optimum dari segi proteksi radiasi. Pada Gambar 4, merupakan skema ruangan fasilitas pesawat radioterapi dimana pada bagan tersebut terdapat sebuah ruang tempat pesawat radioterapi ditempatkan, sebuah ruang kontrol, kamar gelap, ruang kamar ganti pakaian dan ruang konsultasi (dokter).

Pada kegiatan kalibrasi, ruang yang menjadi pusat perhatian adalah ruang pesawat, ruang kontrol dan ruang antara/tunggu. Adapun optimasi keselamatan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pembagian tugas pada pelaksana kalibrasi harus jelas, yaitu :
 - Pelaksana pertama, memimpin pelaksanaan kalibrasi, mengoperasikan alat ukur standar dan menghitung secara kasar terhadap hasil-hasil yang telah diukur.
 - Pelaksana kedua, mengoperasikan pesawat radioterapi dan mengawasi pelaksanaan *setting* melalui layar monitor.

- Pelaksana ketiga, melakukan perubahan *setting*, mengawasi/menjaga daerah di sekitar pintu masuk ruang pesawat radioterapi agar tidak dilalui orang.
2. *Interlock* pada pintu ruang pesawat di non aktifkan. Hal ini dimaksudkan agar pelaksanaan kalibrasi lebih efisien dari segi waktu, tenaga dan dapat mengurangi kemungkinan rusaknya *interlock*. Kondisi ini cukup berisiko, namun dengan penempatan pelaksana ketiga di daerah pintu ruang pesawat saat pesawat dioperasikan dapat mengurangi risiko tersebut. Selain itu pada kondisi pintu ruang pesawat terbuka hanya diperoleh paparan radiasi sekitar $0,2 \mu\text{Sv/jam}$, sehingga cukup aman bagi pelaksana kalibrasi.
 3. Menempatkan surveymeter/alat ukur radiasi tambahan pada daerah di sekitar pintu masuk ruang pesawat sehingga paparan radiasi selalu terawasi.
 4. Pelaksana kalibrasi senantiasa harus selalu berada dalam kondisi segar, berkonsentrasi penuh, jelas dalam memberikan perintah atau

tanda-tanda (aba-aba) dan tidak melakukan penyinaran sebelum kondisi di ruang pesawat diketahui benar-benar aman.

5. Pelaksanan kalibrasi harus menggunakan monitor perorangan agar dosis yang diterimanya selalu tercatat.
6. Pemasangan tanda radiasi dan tali kuning di depan pintu ruang pesawat agar tak dilalui orang sangat membantu dalam segi proteksi radiasi.
7. Ketentuan umum proteksi radiasi pada pesawat radioterapi tetap menjadi acuan dasar dalam melakukan kalibrasi.

PENUTUP

Mempelajari, mempertimbangkan tata cara dan jenis pekerjaan serta banyaknya besaran yang harus diukur, diuji maupun dikaji terhadap pesawat radioterapi ^{60}Co maupun ^{137}Cs , maka optimasi terhadap faktor keselamatan radiasi perlu dilakukan guna mendapatkan nilai keuntungan yang maksimal dengan memperhitungkan faktor kerugian secara menyeluruh baik dari aspek sosial maupun ekonomi. Namun demikian batasan nilai dosis yang akan diterima pekerja maupun lingkungannya tidak boleh melebihi dari Nilai Batas Dosis yang ditentukan. Optimasi ini sangat dimungkinkan karena lebih efisien dari segi waktu dan tenaga. Dengan penggunaan waktu dan tenaga yang semakin efisien diharapkan mampu memperkecil kemungkinan timbulnya faktor kelelahan, mengantuk, jenuh, hilangnya konsentrasi dan *stress*. Selain itu kekompakan antar sesama pelaksana kalibrasi maupun kerjasama yang baik dengan pihak pemilik pesawat radioterapi akan sangat membantu dalam menerapkan sistem optimasi keselamatan radiasi pada saat melakukan kalibrasi.

Perlakuan meng-non-aktifkan *interlock* pada pintu ruang pesawat radioterapi pada saat melakukan kalibrasi dirasakan sangat bertentangan dengan peraturan yang berlaku.

Namun dengan mempertimbangkan adanya pengawasan yang ketat, paparan di daerah pintu pesawat yang selalu terpantau, nilai dosis yang tidak melebihi batasan yang dibolehkan maka perlakuan tersebut dibolehkan.

Dengan berhasilnya optimasi ini dan telah diterapkan selama ini tanpa adanya gangguan yang berarti maupun kecelakaan dalam melakukan kalibrasi pesawat radioterapi, sangat dimungkinkan optimasi keselamatan radiasi ini diadopsi untuk pelaksanaan pekerjaan pengukuran radiografi industri, *gauging* dan pengukuran lain yang sejenis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2000 tentang Keselamatan dan Kesehatan Terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.
2. 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.
3. Surat Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 21/Ka-BAPETEN/XII-2002 tentang Program Jaminan Kualitas Instalasi Radioterapi.
4. IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing radiation and for the safety of radiation source, Safety Series No. 115, IAEA, Vienna, 1996.
5. Panduan Mutu, Laboratorium Metrologi Radiasi, Nomor Dokumen : IK-LMR-Kal-09, Revisi : 0 , 2003.
6. 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.
7. GATOT W. dan SUSETYO T., Kendali Kualitas dan Jaminan Kualitas Pesawat Radioterapi, Bidikan Baru Laboratorium Metrologi Radiasi, Buletin Alara, Volume 6 Nomor 2, Desember 2004.