

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kalibrasi detektor dosimetri merupakan dasar dari program jaminan mutu (*Quality Assurance/QA*) dalam pelayanan radioterapi. Setiap detektor yang digunakan untuk pengukuran dosis serap harus memiliki faktor kalibrasi yang tertelusur ke standar primer melalui rantai kalibrasi yang tidak terputus, sesuai rekomendasi *International Atomic Energy Agency* (IAEA) dalam *Technical Reports Series* No. 398 (TRS-398).

Penetapan rantai kalibrasi yang tidak terputus hingga ke standar primer merupakan dasar utama dalam radioterapi dan radiologi diagnostik. Hal ini bukan sekadar pemenuhan regulasi administratif, melainkan prasyarat teknis untuk memastikan keselamatan pasien dan akurasi klinis. Berikut adalah alasan-alasan fundamental mengapa ketertelusuran (*traceability*) ke standar primer sangat krusial:

a. Akurasi Dosis dan Keselamatan Pasien

Dalam radioterapi, jarak antara keberhasilan penyembuhan (kontrol tumor) dan komplikasi pada jaringan sehat sangatlah sempit. Kesalahan kecil dalam pengukuran dosis menimbulkan dampak yang besar bagi pasien. Standar primer memberikan nilai dosis dengan ketidakpastian (*uncertainty*) yang paling rendah. Ini untuk memastikan bahwa dosis 1 Gray yang diberikan kepada pasien di rumah sakit benar-benar bernilai 1 Gray secara internasional (TRS-398)

b. Standardisasi Global dan Konsistensi Data

Rantai kalibrasi memastikan hasil pengobatan di satu negara dapat dibandingkan dengan negara lain. Jika setiap rumah sakit menggunakan standar lokal yang tidak tertelusur, maka protokol klinis, uji coba global,

dan penelitian kanker tidak akan memiliki basis data yang valid karena nilai dosisnya tidak seragam.

c. Mengompensasi Karakteristik Spesifik Detektor

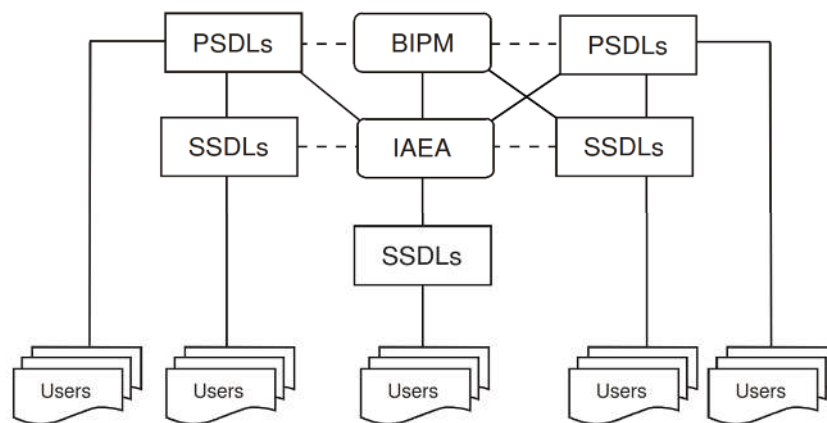
Setiap detektor (seperti bilik ionisasi atau semikonduktor) memiliki respons yang bervariasi terhadap kualitas berkas radiasi, suhu, tekanan, dan kelembapan.

- **Faktor Kalibrasi ($N_{D,w}$):** Berperan sebagai jembatan yang mengubah sinyal listrik (Coulomb) menjadi satuan dosis serap (Gray).
- Tanpa kalibrasi yang tertelusur, variasi pabrikasi atau penurunan sensitivitas detektor seiring waktu tidak akan terdeteksi, yang mengakibatkan kesalahan sistematis pada pembacaan dosis.

d. Hierarki Kalibrasi untuk Efisiensi

Karena keterbatasan jumlah Laboratorium Standar Primer (PSDL) di dunia, IAEA merekomendasikan hierarki berikut untuk menjaga ketertelusuran, sebagaimana yang ditampilkan gambar 1.1:

1. PSDL (*Primary Standard Dosimetry Laboratory*): Memiliki standar absolut.
2. SSDL (*Secondary Standard Dosimetry Laboratory*): Melakukan kalibrasi alat lapangan terhadap standar sekunder yang telah dikalibrasi di PSDL.
3. User/Rumah Sakit: Menggunakan detektor yang telah dikalibrasi di SSDL untuk memastikan alat terapi (seperti Linac atau ^{60}Co) mengeluarkan dosis yang tepat.



Gambar 1.1 Hierarki laboratorium Kalibrasi

Fasilitas radioterapi RSUD Dr. Moewardi Surakarta memiliki tiga detektor dosimetri yang menjadi subjek penelitian ini: Iba CC04, Iba CC13, dan Exradin A12, dengan PTW FC65-G sebagai detektor referensi yang telah dikalibrasi di *Secondary Standard Dosimetry Laboratory* (SSDL). Pesawat iradiasi yang digunakan adalah External Cobalt-60 tipe GWXJ80 dan Linac Vitalbeam (6 MV dan 10 MV) dari Varian.

Selama berjalanya pelayanan radioterapi di RSUD Dr. Moewardi, seluruh detektor dikirimkan ke Badan Riset Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai SSDL di Indonesia secara periodik untuk dikalibrasi, yang berakibat beban biaya dan waktu yang signifikan. Dengan pertimbangan dan waktu maka metode *Cross Calibration* atau kalibrasi silang yang diakui dalam IAEA TRS-398 Appendix A memungkinkan faktor kalibrasi detektor lapangan (*Field Detector*) diturunkan langsung dari detektor referensi yang bersertifikat SSDL, dalam kondisi penyinaran radiasi yang identik. Pendekatan ini secara efisien mempertahankan ketertelusuran kalibrasi tanpa perlu mengirim seluruh detektor ke SSDL.

Pada penelitian ini dibatasi pada detektor tipe *cylindrical* (FC65-G, CC04, CC13, Exradin A12) dan semua detector dilakukan kalibrasi silang pada berkas foton sesuai protokol TRS-398.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur kalibrasi silang yang valid secara metrologi untuk menentukan $N_{D,w}$ detektor Iba CC04, Iba CC13, dan Exradin A12 pada berkas foton, mengacu pada PTW FC65-G yang tertelusur SSDL?
2. Berapa nilai $N_{D,w}$ masing-masing detektor lapangan (*field*) yang diperoleh melalui kalibrasi silang pada berkas Co-60 (kualitas referensi) dan berkas foton Linac Vitalbeam (6 MV dan 10 MV)?
3. Bagaimana validitas hasil kalibrasi silang dibandingkan data sertifikat SSDL historis yang tersedia?
4. Berapa ketidakpastian pengukuran diperluas ($k=2$) yang dicapai, dan apakah memenuhi persyaratan klinis $\leq 1,5\%$?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1 Tujuan Umum

Melakukan kalibrasi silang detektor Iba CC04, Iba CC13, dan Exradin A12 terhadap PTW FC65-G yang tertelusur SSDL, pada berkas foton External Cobalt-60 dan Linac Vitalbeam (6 MV dan 10 MV), serta memvalidasi hasil terhadap data SSDL historis.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Melaksanakan pengukuran kalibrasi silang mengikuti protokol IAEA TRS-398 pada kondisi referensi terstandar, menggunakan metode *bracketing*.
2. Menentukan $N_{D,w}$ kalibrasi silang untuk setiap lapangan (*field*) pada tiga kualitas berkas: Co-60, 6 MV, dan 10 MV.
3. Membandingkan $N_{D,w}$ kalibrasi silang dengan data SSDL historis (Iba CC04, Iba CC13 dan Exradin A12) dan mengevaluasi deviasinya.

4. Menghitung dan melaporkan ketidakpastian pengukuran mengikuti ISO/IEC Guide 98-3 (GUM).
5. Menganalisis efisiensi biaya dibandingkan kalibrasi penuh ke SSDL.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Menghasilkan faktor kalibrasi $N_{D,w}$ yang valid dan tertelusur untuk CC04, CC13, dan Exradin A12 yang dapat langsung digunakan dalam protokol dosimetri klinis.
2. Menghasilkan SOP kalibrasi silang berbasis TRS-398 yang dapat diadopsi fasilitas radioterapi lain di Indonesia.
3. Menunjukkan penghematan biaya dan pengurangan offline time detektor secara terukur.
4. Memberikan kontribusi pada pengembangan praktik dosimetri klinis berbasis bukti di Indonesia.
5. Memenuhi persyaratan akademis Program Pendidikan Profesi Fisikawan Medis Konsentrasi Radioterapi.

1.5 Batasan Penelitian

1. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Radioterapi RSUD Dr. Moewardi Surakarta, pada periode April – Mei 2026.
2. Metode yang digunakan dengan Teknik Substitusi
3. Detektor lapangan (*field*): Iba CC04, Iba CC13, dan Exradin A12.
4. Pesawat iradiasi: External Cobalt-60 dan Linac Vitalbeam (6 MV, 10 MV).
5. Kualitas berkas yang diuji: Co-60 (referensi primer), 6 MV foton, dan 10 MV foton.
6. Detektor referensi FC65-G menggunakan sertifikat SSDL yang masih berlaku (< 2 tahun).
7. Analisis ketidakpastian mengikuti GUM (ISO/IEC Guide 98-3), dibatasi pada komponen yang teridentifikasi dalam kondisi penelitian ini.