

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kedokteran nuklir, radiofarmaka digunakan baik untuk pencitraan diagnostik maupun terapi radiasi. Penggunaannya sangat penting dalam dunia medis, terutama untuk membantu mendiagnosis fungsi organ serta mengobati berbagai kondisi patologis, khususnya kanker (Payolla et al., 2019). Salah satu radiofarmaka yang paling umum digunakan adalah Teknesium-99m (Tc-99m). Isotop tersebut dikenal sebagai radiotracer ideal dengan energi 140 keV serta kelimpahan 89% yang sangat sesuai untuk sistem pencitraan menggunakan gamma camera. Meskipun waktu paruh Tc-99m mencapai 6 jam untuk digunakan dalam pencitraan, waktu paruh tersebut juga cukup pendek untuk mengurangi dosis radiasi yang diserap tubuh (Banerjee et al., 2001).

Namun, di balik manfaat diagnostiknya, prosedur kedokteran nuklir juga mengandung risiko paparan radiasi terhadap pasien. Jika dosis radiofarmaka yang diberikan tidak dikendalikan dengan baik, hal ini dapat meningkatkan kemungkinan efek stokastik, seperti kanker akibat radiasi (de Souza Ribeiro et al., 2023). Permasalahannya adalah adanya variasi dosis yang besar antar fasilitas kesehatan, bahkan untuk prosedur yang sama dan radiofarmaka yang serupa (Carpeggiani et al., 2017).

Variasi dosis yang serupa diamati dalam pemeriksaan *computed tomography* (CT) secara internasional. Sebuah studi kohort prospektif yang melibatkan lebih dari 2 juta pemeriksaan CT di 151 institusi di tujuh negara menemukan bahwa dosis radiasi CT sangat bervariasi antar pasien, institusi, dan negara, bahkan setelah disesuaikan dengan karakteristik pasien. Misalnya, untuk CT *abdomen*, rata-rata dosis efektif bervariasi empat kali lipat antar negara (7.0 mSv di Belanda hingga 25.7 mSv di Jepang), dengan proporsi pemeriksaan dosis tinggi yang mencapai 17 kali lipat (4-69%). Variasi serupa juga terlihat pada CT *chest* dan CT campuran *chest* dan *abdomen*. Dosis yang bervariasi ini sebagian besar disebabkan oleh keputusan institusional mengenai parameter teknis, bukan

oleh karakteristik pasien, institusi, atau modalitas citra (Smith-Bindman et al., 2019).

Hasil penelitian oleh A Ostinelli et al. (1997) juga menunjukkan variasi dosis efektif pada pasien tidak berkorelasi langsung dengan karakteristik anatomi atau kondisi penyakit berdasarkan riwayat medis, namun metode persiapan dan pemberian radiofarmaka memiliki pengaruh terhadap dosis efektif yang diterima pasien. Studi yang dilakukan pada 177 pasien dengan prosedur paling umum seperti skintigrafi tiroid, *bone scan* seluruh tubuh, dan skintigrafi ginjal menunjukkan bahwa selisih antara aktivitas nominal dan aktivitas yang benar-benar disuntikkan berkisar antara 11–14,5%. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara dosis teoritis dan dosis aktual, yang dalam praktiknya dapat menyebabkan paparan berlebih jika tidak diawasi secara ketat (Ostinelli et al., 1997).

Dalam upaya untuk mengendalikan dan mengoptimalkan dosis radiasi ini, konsep *Reference Levels* telah lama diterapkan dalam pencitraan diagnostik. *Diagnostic Reference Levels* (DRL) berfungsi sebagai "tingkat investigasi" yang digunakan untuk mengidentifikasi praktik-praktik pemberian dosis yang sangat tinggi, sehingga memerlukan tinjauan lebih lanjut (Alessio et al., 2015). Penerapan DRL sangat relevan dalam prosedur kedokteran nuklir, dengan optimasi bertujuan untuk memastikan penggunaan tingkat radiasi terendah yang cukup untuk melakukan prosedur sambil mempertahankan kualitas gambar yang memadai (Dalal et al., 2025). Optimasi dalam pencitraan medis adalah menyeimbangkan antara jumlah radiasi pasien dan kualitas gambar. Meskipun peningkatan jumlah radiasi umumnya meningkatkan kualitas gambar, prinsip utamanya adalah meminimalkan dosis radiasi pasien sambil memastikan bahwa gambar tetap memberikan kualitas (informasi) yang memadai untuk memenuhi kebutuhan klinis (Bashir & Shahzad, 2019).

Maka demikian, sebuah studi dilakukan untuk menetapkan sistem DRL yang inklusif untuk prosedur kedokteran nuklir umum pada pasien dewasa. Penelitian ini melibatkan pengumpulan dan analisis survei dosis dari 1439 prosedur kedokteran nuklir dewasa yang dilakukan di Dubai Health selama dua belas bulan. Secara umum, DRL yang dihasilkan untuk prosedur skintigrafi, SPECT/CT, dan

PET/CT berada dalam DRL nasional yang dilaporkan. Namun, ditemukan bahwa dosis CT dari *hybrid* SPECT/CT untuk situs leher, perut, dan dada/perut, serta aktivitas yang diberikan untuk 18F PSMA, melebihi DRL nasional. Tinjauan dosis pasien ini menjadi upaya dasar untuk mengoptimalkan keselamatan radiasi dan menetapkan standarisasi praktik diagnostik dalam kedokteran nuklir (Dalal et al., 2025).

Di Indonesia, Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) telah berperan dalam inisiatif terkait *Diagnostic Reference Level* (DRL), termasuk melalui Sistem Informasi Data Dosis Pasien (Si-INTAN) (BAPETEN, 2020). Si-INTAN merupakan platform yang digunakan untuk mengumpulkan dan memantau data dosis radiasi pasien dari berbagai fasilitas pelayanan kesehatan secara nasional. Tujuan utama dari sistem ini adalah untuk mengevaluasi dan membandingkan dosis aktual terhadap nilai acuan yang diharapkan, serta mengidentifikasi adanya penyimpangan dosis yang berpotensi menyebabkan *overexposure* (Endah Sari et al., 2023). Melalui data yang dikumpulkan oleh Si-INTAN, BAPETEN dapat menganalisis variasi dosis antar rumah sakit dan mengembangkan *Indonesian Diagnostic Reference Level* (I-DRL) sebagai acuan nasional untuk praktik diagnostik berbasis radiasi (BAPETEN, 2021).

Sebuah penelitian mengevaluasi TPD lokal untuk CT *Scan* thorax kontras klinis tumor paru di RS X Jakarta (Ekayanti et al., 2024). I-DRL nasional standar yang diizinkan BAPETEN adalah 16 mGy (CTDIvol) dan 810 mGy.cm (DLP) (BAPETEN, 2021). Hasil penelitian menunjukkan nilai persentil ke-75 sebesar 12,55 mGy untuk CTDIvol dan 439 mGy.cm untuk DLP. Nilai TPD lokal ini berada di bawah standar BAPETEN, mengindikasikan bahwa dosis keluaran radiasi dalam praktik pemeriksaan ini normal dan aman (Ekayanti et al., 2024). Namun, dibandingkan dengan DRL di negara lain seperti Australia dan Jepang, nilai I-DRL Indonesia masih lebih tinggi, sehingga perlu ditinjau kembali (Watanabe et al., 2016).

Perkembangan sistem Si-INTAN dari tahun ke tahun telah menghasilkan data yang mendukung evaluasi dan pembaruan nilai I-DRL secara nasional. Pada tahun 2020, BAPETEN merilis nilai *Indonesian Diagnostic Reference Level* (I-

DRL) pertama berdasarkan data dosis aktual dari berbagai rumah sakit yang telah terintegrasi dalam Si-INTAN (Endah Sari et al., 2023). Namun, dengan meningkatnya jumlah fasilitas kesehatan yang berpartisipasi serta meningkatnya kesadaran akan pentingnya optimasi dosis, BAPETEN melakukan revisi dan memperbarui nilai tersebut dalam bentuk Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) tahun 2022 (BAPETEN, 2024).

Berdasarkan perbandingan antara nilai I-DRL nasional tahun 2020 dan tahun 2022 yang terhimpun di Si-INTAN, menunjukkan adanya penyesuaian nilai dosis acuan pada beberapa prosedur berbasis radiofarmaka, khususnya yang menggunakan Teknesium-99m (Tc-99m). Misalnya, pada prosedur *bone scan*, nilai I-DRL nasional tahun 2020 ditetapkan sebesar 800 MBq (BAPETEN, 2020), sedangkan pada I-DRL nasional tahun 2022 diturunkan menjadi 770 MBq (BAPETEN, 2024). Kemudian pada prosedur renal *scan* dengan Tc-99m DTPA, nilai I-DRL nasional 2020 adalah 240 MBq (BAPETEN, 2020), kemudian disesuaikan menjadi 200 MBq pada tahun 2022 (BAPETEN, 2024).

Penyesuaian nilai tersebut mencerminkan adanya peningkatan akurasi, evaluasi praktik klinis yang lebih optimal, serta upaya terhadap standar internasional seperti dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*). Perubahan tersebut juga mengindikasikan bahwa beberapa dosis sebelumnya berpotensi terlalu tinggi (*overexposure*), dan perlu dioptimalkan untuk memenuhi prinsip proteksi radiasi berdasarkan pendekatan Justifikasi, Optimasi, dan ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) (Athiyaman, M., 2023).

Dengan diterapkannya konsep ALARA, prinsip optimasi proteksi radiasi dapat diterapkan secara efektif. Optimasi tidak terbatas pada tahap sebelum dan setelah pengoperasian modalitas, tetapi juga diterapkan selama proses operasional berlangsung. Pelaksanaannya harus dilakukan secara rutin dan berkesinambungan sebagai bagian dari mekanisme yang terus ditingkatkan (BAPETEN, 2021). Optimasi memiliki peran penting dalam mencegah kelebihan dosis yang dapat menyebabkan paparan radiasi berlebih serta kekurangan dosis yang berisiko menghasilkan citra yang tidak dapat diinterpretasikan oleh dokter, sehingga memerlukan pemeriksaan ulang. Selain itu, optimasi juga bertujuan untuk

menghindari paparan radiasi yang tidak diperlukan (*unnecessary exposure*) (Endah Sari et al., 2023).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menilai kesesuaian aktivitas radioaktif yang diberikan pada tubuh pasien dengan I-DRL nasional dan mengidentifikasi perlu atau tidaknya perbaikan. Jika terdapat perbedaan signifikan, optimasi lebih lanjut diperlukan guna meningkatkan efisiensi dan keselamatan pencitraan medis.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat dirumuskan masalahnya adalah sebagai berikut.

1. Berapakah nilai tipikal dosis radiofarmaka Tc-99m pada masing-masing prosedur kedokteran nuklir di rumah sakit swasta tipe A di Kota Bandung?
2. Bagaimana perbandingan antara nilai tipikal dosis radiofarmaka Tc-99m di rumah sakit swasta tipe A di Kota Bandung dengan nilai *Indonesian Diagnostic Reference Level* (I-DRL) nasional?
3. Apakah nilai tipikal dosis yang diperoleh berada dalam kisaran yang sesuai dengan prinsip optimasi dosis?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai tipikal dosis radiofarmaka Tc-99m pada masing-masing prosedur kedokteran nuklir di rumah sakit swasta tipe A di Kota Bandung.
2. Menganalisis perbandingan antara nilai tipikal dosis radiofarmaka Tc-99m di rumah sakit swasta tipe A di Kota Bandung dengan nilai *Indonesian Diagnostic Reference Level* (I-DRL) nasional.
3. Mengetahui nilai tipikal dosis yang diperoleh berada dalam kisaran yang sesuai atau tidaknya dengan prinsip optimasi dosis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan aktivitas radioaktif yang diterima pasien dalam pemeriksaan kedokteran nuklir, sehingga tetap efektif untuk diagnosis namun seminimal mungkin guna mengurangi risiko paparan radiasi yang tidak perlu. Dengan melakukan evaluasi aktivitas radioaktif yang diterima oleh tubuh pasien, penelitian ini juga akan menghasilkan data yang dapat menjadi acuan bagi fasilitas medis dalam menyesuaikan praktik kedokteran nuklir agar sesuai dengan standar nasional. Selain itu, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan keselamatan pasien dengan memastikan penerapan prinsip proteksi radiasi yang lebih optimal dalam prosedur pencitraan medis.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar penelitian lebih terfokus dan sistematis, sehingga pembahasannya menjadi lebih jelas serta sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Dalam penelitian ini, cakupan permasalahan yang akan dianalisis meliputi aspek-aspek berikut.

1. Penelitian ini hanya mengevaluasi aktivitas radioaktif yang diterima pasien dalam pemeriksaan SPECT/CT di salah satu rumah sakit swasta di Kota Bandung, tanpa membahas pencitraan medis lainnya seperti CT-Scan atau MRI.
2. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai tipikal dosis radiofarmaka Tc-99m dari berbagai prosedur pemeriksaan kedokteran nuklir diagnostik di salah satu rumah sakit swasta di Kota Bandung dengan Tingkat Panduan Diagnostik (TPD) nasional yang telah ditetapkan.
3. Sampel yang digunakan terdiri dari pasien yang menjalani pemeriksaan kedokteran nuklir diagnostik di salah satu rumah sakit swasta di Kota Bandung dari periode 2022 hingga 2024.
4. Data yang dikumpulkan mencakup aktivitas radiofarmaka (MBq), karakteristik pasien (usia serta jenis kelamin), prosedur pemeriksaan, dan jenis radiofarmaka.

5. Terdapat keterbatasan pada data berat badan pasien karena tidak seluruhnya tercantum dalam buku rekam medis, sehingga pada beberapa kasus analisis berat badan tidak dapat dilakukan secara lengkap dan hanya menggunakan data yang tersedia.
6. Penelitian ini hanya bersifat observasional, tanpa melakukan intervensi langsung terhadap pasien.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara sistematis, pembahasan penulisan skripsi ini terdiri dari setiap bab sebagai berikut:

1. **BAB I Pendahuluan**
Bab ini berisikan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, tujuan penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. **BAB II Dasar Teori**
Bab ini berisikan dasar teori mengenai Radiasi, Radioaktivitas, Sinar Gamma, Radionuklida, Radiofarmaka, Tc-99m, SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*), Prosedur Pemeriksaan, Sidik Tulang, Sidik Perfusi Miokard, Sidik Ginjal, WBS, Sidik Kelenjar Tiroid, Tingkat Panduan Diagnostik (TPD), I-DRL Nasional, dan Tipikal Dosis.
3. **BAB III Metodologi Penelitian**
Bab ini berisi waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan yang digunakan, dan tahapan penelitian hingga tahapan pengolahan data.
4. **BAB IV Hasil dan Pembahasan**
Bab ini menjelaskan hasil dan data yang diperoleh dan diolah, kemudian dianalisis dari penelitian yang telah dilakukan.
5. **BAB V Penutup**
Bab ini berupa kesimpulan dari hasil selama penelitian yang dilakukan serta saran untuk langkah lanjutan.
6. **DAFTAR PUSTAKA**

Bagian ini berupa daftar referensi atau sumber rujukan yang digunakan sebagai dasar dalam kerangka penelitian ini.

