

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Modalitas pencitraan medis diagnostik telah mengalami perkembangan pesat selama satu abad terakhir dan secara konsisten digunakan untuk menilai berbagai penyakit serta menjawab pertanyaan terkait kondisi medis pasien (Aamry dkk., 2022). Berbagai teknik pencitraan seperti sinar-X, *computed tomography* (CT), *single-photon emission computed tomography/CT* (SPECT/CT), dan *positron emission tomography/CT* (PET/CT) menggunakan radiasi pengion yang berkontribusi signifikan terhadap paparan radiasi buatan pada populasi manusia (Alnaaimi dkk., 2021). Penggunaan radiasi pengion ini menuntut penerapan prinsip proteksi radiasi yang ketat untuk menjamin keselamatan pasien.

Dalam paradigma proteksi radiasi yang ditetapkan oleh International Commission on Radiological Protection (ICRP), terdapat perbedaan mendasar perlakuan antara paparan okupasi (*occupational exposure*) dan paparan medis (*medical exposure*). Pekerja radiasi dan masyarakat umum dilindungi secara hukum oleh Nilai Batas Dosis (NBD) dalam prinsip limitasi. Namun, pasien dikecualikan dari Nilai Batas Dosis (NBD). Pengecualian ini didasarkan pada prinsip justifikasi, yakni manfaat diagnostik yang diterima pasien dianggap melampaui potensi risiko radiasi yang ditimbulkan (Shahzad dan Bashir, 2019). Akan tetapi, ketiadaan batas dosis (NBD) pada paparan medis ini menimbulkan celah risiko berupa potensi variasi dosis yang tidak terkendali (*unmanaged dose variation*) dalam praktik klinis. Tanpa adanya batas atas yang tegas, terdapat risiko pasien menerima dosis radiasi yang jauh lebih tinggi dari yang diperlukan untuk mendapatkan kualitas citra diagnostik yang memadai.

Untuk mengisi kekosongan peran NBD tersebut dan menjamin keselamatan pasien tanpa mengurangi kualitas diagnosis, ICRP memperkenalkan konsep *Diagnostic Reference Level* (DRL) sebagai instrumen utama dalam prinsip optimisasi. DRL didefinisikan sebagai nilai panduan dosis radiasi untuk prosedur radiologi diagnostik dan intervensi, yang bertujuan untuk meminimalkan dosis

sambil tetap menjaga kualitas citra (Vaño dkk., 2017). DRL berfungsi sebagai "tingkat investigasi" (*investigation level*) untuk menilai apakah dosis radiasi yang diterima pasien berada pada tingkat yang tidak wajar, baik terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dalam kondisi praktik rutin (Vassileva dan Rehani, 2015). Secara hierarki, DRL dapat ditetapkan dalam tingkat nasional yang mewakili praktik di berbagai rumah sakit, maupun tingkat lokal (LDRL) yang mencerminkan praktik spesifik di fasilitas kesehatan (Liang dkk., 2017).

Urgensi penerapan DRL menjadi semakin krusial pada modalitas pencitraan hibrida seperti PET/CT. Prosedur ini menggabungkan dua sumber radiasi sekaligus dalam satu pemeriksaan, yaitu paparan internal dari radiofarmaka (umumnya ^{18}F -FDG) dan paparan eksternal dari transmisi sinar-X CT (Zamagni dkk., 2007). Akibatnya, PET/CT memberikan beban radiasi kumulatif yang lebih tinggi dibandingkan modalitas pencitraan tunggal lainnya (Martí-Climent dkk., 2017). Pada pemeriksaan PET/CT *whole-body*, kontribusi dosis dari komponen CT bahkan dapat mencapai 54%–81% dari total dosis radiasi yang diterima pasien, bergantung pada parameter pemindaian yang digunakan (Salah dkk., 2020). Hal tersebut menuntut optimisasi dosis pada PET/CT tidak hanya berfokus pada aktivitas radiofarmaka, tetapi juga sangat bergantung pada pengendalian dosis CT.

Tantangan dalam optimisasi dosis CT pada PET/CT adalah adanya variasi ukuran tubuh pasien. Perangkat PET/CT modern umumnya dilengkapi dengan fitur modulasi arus tabung otomatis atau *Automatic Exposure Control* (AEC), yang secara otomatis menaikkan arus tabung (mA) pada pasien berukuran besar untuk mempertahankan kualitas citra. Hal ini menyebabkan dosis radiasi berfluktuasi mengikuti *Body Mass Index* (BMI) pasien. Namun, mayoritas penetapan DRL saat ini masih menggunakan nilai tunggal (*single value*) yang digeneralisasi. Penggunaan DRL tunggal ini berpotensi bias sehingga nilai tersebut mungkin terlalu longgar untuk pasien kurus (*underweight*) atau terlalu ketat untuk pasien obesitas sehingga stratifikasi DRL berdasarkan kategori BMI diperlukan untuk presisi optimisasi yang lebih tinggi (Lima dkk., 2018).

Di tingkat global, tren penetapan DRL untuk PET/CT sudah dimulai. Studi di Malaysia oleh Ridhwan dkk. (2023) dan di Sri Lanka oleh Lakmal dkk. (2024)

menyoroti pentingnya pembentukan DRL lokal untuk komponen CT pada PET/CT, mengingat standar nasional yang ada seringkali belum mencakup dosis gabungan ini. Sementara itu, kondisi di Indonesia menunjukkan bahwa DRL nasional yang tersedia saat ini umumnya masih terpisah dan hanya mencakup aktivitas radiofarmaka untuk kedokteran nuklir, atau dosis CT diagnostik per regio anatomi tertentu (seperti kepala atau toraks), sebagaimana dilaporkan oleh Pratama dan Rusmanto (2020) serta Jannah dkk. (2023). Belum terdapat data komprehensif mengenai DRL lokal untuk prosedur PET/CT *whole body* yang mengintegrasikan kedua modalitas tersebut, khususnya yang dianalisis berdasarkan variasi BMI pasien.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini memberikan kontribusi kebaruan sebagai studi pertama di Indonesia yang menetapkan DRL lokal spesifik untuk parameter CT dalam prosedur PET/CT serta mengusulkan stratifikasi DRL berdasarkan BMI. RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung sebagai pusat rujukan nasional dengan volume pasien onkologi yang tinggi dan peralatan mutakhir dipilih menjadi lokasi penelitian, data dari institusi ini diharapkan dapat menjadi *benchmark* awal untuk membandingkan praktik klinis di Indonesia dengan standar internasional. Lebih lanjut, dosis efektif juga akan dihitung dalam penelitian ini untuk melihat efek biologis yang diterima pasien, yang diharapkan dapat menjadi acuan kebijakan proteksi radiasi yang lebih akurat dan adaptif.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menentukan nilai *Diagnostic Reference Level* (DRL) lokal dari data dosis pemeriksaan PET/CT *whole body*.
2. Menghitung dosis efektif dari masing-masing PET dan CT serta dosis efektif total pasien, berdasarkan data aktivitas radiofarmaka dan parameter dosis CT (CTDIvol dan DLP).

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan konsep optimasi proteksi radiasi pada pemeriksaan *hybrid imaging*, khususnya PET/CT *whole body* dengan ^{18}F -FDG.
2. Menyediakan data kuantitatif lokal terkait aktivitas radiofarmaka dan parameter dosis CT (CTDIvol dan DLP) pada prosedur PET/CT yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi protokol di RSUP Dr. Hasan Sadikin Bandung.
3. Menjadi referensi awal bagi rumah sakit dan institusi lain di Indonesia dalam penyusunan DRL nasional untuk prosedur PET/CT.

1.4 Orisinalitas Penelitian dan Analisis Kesenjangan (*Gap Analysis*)

Tabel 1. 1 Orisinalitas Penelitian dan Analisis Kesenjangan

No	Peneliti (Tahun)	Topik Penelitian	Hasil Penelitian	Kesenjangan (<i>Research Gap</i>)
1	Ridhwan dkk. (2023) (Malaysia)	Estimasi dosis efektif dan usulan DRL lokal PET/CT untuk pasien onkologi.	Menunjukkan ketiadaan standar dosis CT nasional untuk PET/CT. Berhasil mengusulkan DRL lokal berbasis data DLP dan CTDIvol.	Masih berfokus pada penetapan nilai DRL tunggal untuk populasi umum. Belum mengeksplorasi stratifikasi mendalam berdasarkan kategori ukuran tubuh (BMI).
2	Lakmal dkk. (2024) (Sri Lanka)	Pembentukan DRL nasional untuk CT pada PET/CT di negara berkembang.	Menyoroti pentingnya DRL lokal karena adanya variasi dosis yang signifikan antar rumah sakit. Menekankan perlunya harmonisasi protokol.	Analisis terbatas pada variasi antar-institusi. Belum menerapkan stratifikasi dosis berdasarkan BMI untuk mengatasi bias variasi ukuran tubuh pasien.

3	Suliyman dkk. (2025) (Arab Saudi)	Penyusunan DRL lokal PET/CT di RS Al Mishari.	Menyusun DRL lokal berbasis median dan persentil ke-75 dari CTDIvol dan DLP, serta menghitung estimasi dosis efektif total.	Menggunakan pendekatan DRL tunggal (<i>single value</i>). Tidak memperhitungkan pengaruh fluktuasi dosis akibat <i>Automatic Exposure Control</i> (AEC) pada variasi ukuran tubuh pasien.
4	Pratama & Rusmanto (2020); Jannah dkk. (2023); Mulyati dkk. (2025) (Indonesia)	Penentuan DRL untuk pemeriksaan CT Scan Diagnostik.	Melaporkan nilai DRL untuk pemeriksaan CT diagnostik konvensional yang terfokus pada regio anatomi tertentu (kepala, toraks, abdomen) secara terpisah.	Hanya mencakup CT diagnostik per organ, bukan dalam konteks protokol <i>PET/CT Whole Body</i> . Belum mencakup estimasi dosis gabungan (hibrida) dari PET dan CT secara menyeluruh.