

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada pencitraan medis, pemanfaatan radiasi pengion sudah semakin berkembang pesat seiring dengan kemajuan teknologi diagnostik, khususnya pada pencitraan CT dan kedokteran nuklir. Kemajuan ini memberikan manfaat diagnostik yang signifikan, seperti pencitraan yang lebih eksploratif dan meningkatkan akurasi diagnostik. Hal ini berdampak pada paparan radiasi pengion yang diterima oleh pasien menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, dibutuhkan pemantauan untuk menjamin proteksi radiasi dan keselamatan pekerja, pasien serta masyarakat (Jannah *et al*, 2023).

Terdapat tiga prinsip sistem proteksi radiasi berdasarkan dokumen ICRP, yaitu justifikasi, optimasi dan pembatasan paparan individu. Prinsip justifikasi berarti radiasi pengion yang digunakan harus memberikan lebih banyak manfaat dibandingkan risikonya dan prinsip optimasi mengacu pada pendekatan ALARA dengan menggunakan dosis serendah mungkin. Pengendalian paparan didasarkan pada pembatas dosis atau nilai batas dosis (NBD). NBD berlaku untuk pekerja radiasi dan anggota masyarakat dalam waktu tertentu tanpa menimbulkan efek genetik dan somatik yang berarti. Dalam hal paparan medis, nilai batas dosis tidak diterapkan pada pasien karena merupakan bagian dari objek investigasi atau perlakuan tindakan medis menggunakan sumber radiasi pengion untuk keperluan diagnosis atau terapi penyakit. Hal ini menjadi perhatian dalam memastikan dosis yang digunakan telah optimal tanpa mengurangi kualitas informasi diagnostik .

Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa terdapat variasi dosis radiasi yang cukup besar untuk jenis pemeriksaan yang sama. Variasi ini menunjukkan adanya potensi penggunaan dosis yang tidak optimal karena tidak dapat dijelaskan oleh perbedaan kondisi pasien. Oleh karena itu diperlukan suatu pendekatan sistem untuk mengevaluasi kewajaran dosis radiasi pasien dalam praktik klinis.

Sebagai lanjutan pada kebutuhan evaluasi kewajaran dosis radiasi pasien, ICRP mengenalkan konsep *reference level* sebagai alat operasional dalam pengendalian paparan radiasi. Pada tahun 1996 konsep ini dikembangkan lebih lanjut menjadi diagnostik reference level (DRL) yang secara khusus ditujukan untuk pasien. Nilai DRL mengacu pada tingkat investigasi yang digunakan untuk menetapkan jumlah dosis optimal yang menyeimbangkan dosis radiasi dan kualitas citra. Oleh karena itu, DRL tidak digunakan sebagai batas dosis, namun hanya untuk mengidentifikasi praktik yang tidak tepat pada saat pemindaian yang mengakibatkan pasien terpapar dosis yang tidak perlu (Alhujaili *et al.* 2025; Alrehily and Alshamrani 2023; Charest and Asselin 2018)

Secara statistik didapatkan dengan menghitung nilai kuartil ke-3 (Q3) dari distribusi dosis yang diterima pasien untuk pemeriksaan tertentu. Salah satunya pada pemeriksaan SPECT/CT. *Single Photon Emission Computed Tomography/Computed Tomography* (SPECT/CT) merupakan modalitas pencitraan hybrid yang dikombinasikan pada pencitraan fungsional dari SPECT untuk pemeriksaan sistem skeletal dan penggunaan CT memiliki peran untuk menentukan letak anatomi (anatomical marker) dalam membantu diagnosa pada pencitraan SPECT/CT (Alrehily and Alshamrani 2023). Pada praktik klinis SPECT/CT dapat menilai respon terapi dari sistem kardiovaskular, onkologi dan gangguan neurologis. (Bouchareb *et al.* 2024).

Walaupun pencitraan hybrid, perhitungan nilai DRL dilakukan secara independen pada masing – masing modalitas. Pada SPECT/CT nilai DRL dilakukan secara terpisah, yaitu DRL SPECT dan DRL CT. Penetapan nilai DRL pada CT dihasilkan dari Parameter dosis seperti DLP dan CTDIvol (Goldman 2007), sedangkan pada SPECT adalah aktivitas radiofarmaka (Stemberger *et al.* pada Rausch *et al.*, 2016). DLP adalah parameter yang menggambarkan total energi/dosis radiasi yang diterima pasien sepanjang area tubuh yang dipindai. Nilai DLP dipengaruhi oleh nilai CTDIvol dan scan length. CTDIvol adalah rata – rata dosis radiasi per volume yang menunjukkan besar radiasi yang diberikan per irisan CT (Alhujaili *et al.* 2025; Charest and Asselin 2018), sedangkan Scan length adalah panjang pemindaian. Panjang pemindaian bisa bervariasi karena cakupan anatomi

yang dipindai berbeda – beda. Hal ini dibedakan berdasarkan penggunaan bed position pada SPECT/CT. Secara umum dilakukan pada single-bed position karena dilakukan secara terarah atau hanya pada daerah yang mencurigakan (Guezennec *et al.* 2017).

Selain parameter CT, penentuan nilai DRL pada modalitas SPECT dihasilkan dari distribusi aktivitas radiofarmaka. Ada beberapa radiofarmaka yang digunakan pada pemeriksaan SPECT/CT, salah satunya Technitium-99m (Tc-99m). Tc-99m merupakan formula yang sangat baik untuk pencitraan menggunakan kamera gamma sehingga banyak digunakan pada kedokteran nuklir (Alsharif *et al.* 2020; Rudyanti *et al.* 2025). Untuk mencapai organ atau area yang dibutuhkan radiofarmaka membutuhkan zat pembawa seperti *pertechnetate*, *Methylene Diphosphonate* (MDP) dan MIBI. Masing – masing pembawa memiliki fungsionalitas pada anatominya masing – masing. Tc-99m *pertechnetate* secara aktif menunjukkan penyerapan pada tiroid, kelenjar ludah dan lambung. Tc-99m MDP adalah radiofarmaka yang digunakan untuk *bone scanning*. Tc-99m MIBI secara umum digunakan untuk studi perfusi miokardium dan fungsi ventrikel jantung (Charest and Asselin 2018).

Beberapa tahun terakhir pemeriksaan dengan SPECT/CT sudah banyak dilakukan karena kebutuhan diagnosis yang lebih mendetail. Hal tersebut memicu peningkatan kesadaran akan potensi masalah kesehatan dari pasien yang menerima banyak dosis atau pemeriksaan pencitraan. Saat ini informasi terkait besarnya dosis radiasi yang diterima pasien masih terbatas. Hal ini sangat penting untuk evaluasi terhadap total dosis efektif yang diterima pasien untuk memahami risiko yang timbul. Dosis efektif digunakan sebagai parameter penting untuk perencanaan dan optimalisasi proteksi radiasi karena mewakili risiko potensial dari efek stokastik akibat radiasi. Hal ini karena, dosis efektif memungkinkan perbandingan berbagai pencitraan yang melibatkan radiasi pengion dan bukan sebagai ukuran untuk estimasi risiko individu (Andersson *et al.* 2014).

Riset mengenai dosis efektif pasien di Indonesia dimulai pada pemeriksaan radiologi, salah satunya pada pemeriksaan thorax oleh Anggarin *et al.*, (2022). Secara global penelitian mengenai dosis efektif sudah banyak dilakukan, seperti

Montes *et al.*, (2013) yang menentukan dosis efektif pada pasien yang menerima pemeriksaan SPECT/CT. Dosis efektif SPECT/CT merupakan jumlah dari dosis efektif SPECT (ED_{SPECT}) dan dosis efektif CT (ED_{CT}). ED_{SPECT} didapatkan berdasarkan nilai aktivitas radiofarmaka dan faktor konversi, sedangkan ED_{CT} dihitung berdasarkan nilai dose length product (DLP) dan dikalikan dengan faktor konversi yang bergantung pada area organ/jaringan. Area tubuh yang dipindai adalah kepala-leher, leher-toraks, abdomen-pelvis dan seluruh tubuh.

Pada radiofarmaka seperti ^{99m}Tc dan ^{123}I dilakukan oleh Avramova-Cholakova *et al.*, 2015, Rausch *et al.*, 2016, dan Alhujaili *et al.*, 2025 pada bagian tubuh kepala, leher, dada, abdomen, ekstremitas dan seluruh tubuh. Masing – masing nilai parameter CTDI, DLP dan aktivitas radiofarmaka digunakan untuk mengestimasi nilai DRL dan dibandingkan dengan nilai DRL yang ditetapkan pada masing – masing negara. Parameter DLP dan aktivitas radiofarmaka digunakan untuk menghitung nilai dosis efektif serta membandingkan dosis yang paling banyak terpapar pada pasien. Adapun penelitian terkait penentuan DRL yang dilakukan di Indonesia oleh Rudyanti *et al.*, (2025) untuk pencitraan SPECT. Penelitian dilakukan pada lebih dari 4000 pasien menggunakan radiofarmaka Tc-99m MIBI, Tc-99m MDP dan I-131.

Mengacu pada berapa penelitian tersebut, diketahui bahwa estimasi dosis pada pemeriksaan SPECT/CT menggunakan radiofarmaka Tc-99m belum banyak dilakukan di Indonesia. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan *Computed Tomography Dose Index Volume* (CTDIvol), *Dose Length Product* (DLP) dan aktivitas radiofarmaka dengan nilai I- DRL yang ditetapkan oleh BAPETEN serta menghitung dosis efektif pada pasien untuk mengevaluasi paparan radiasi pasien. Data tersebut penting untuk mengevaluasi apakah praktik berjalan sesuai standar proteksi radiasi yang direkomendasikan, sehingga diharapkan dapat mengurangi risiko terhadap pasien.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Memperoleh nilai DRL lokal pada prosedur pemindaian SPECT/CT dengan jenis radiofarmaka Tc-99m MIBI, Tc-99m MDP dan Tc-99m *Per technetate*

- 2 Melakukan evaluasi terhadap hasil estimasi dosis radiasi dengan membandingkan terhadap nilai rujukan I-DRL.
- 3 Memperoleh dosis efektif dari komponen CT, SPECT dan total dengan menggunakan parameter DLP dan aktivitas radiofarmaka yang digunakan.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui kontribusi dosis tertinggi dari masing-masing modalitas pencitraan (SPECT dan CT) yang diserap oleh pasien selama prosedur SPECT/CT
2. Memberikan dasar evaluatif terhadap nilai DRL berdasarkan data asli untuk mendukung upaya optimalisasi dan proteksi radiasi serta peningkatan mutu pelayanan radiologi kedokteran nuklir.

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 (Research Gap)
1.	(Rausch <i>et al.</i> 2016)	Evaluasi besar dosis yang diterima pasien pada pemeriksaan SPECT/CT dan bagaimana kontribusi kedua modalitas terhadap total dosis pada berbagai wilayah pemindaian dan protocol klinis	Sebagian besar dosis pasien pada SPECT/CT secara bervariasi tergantung regio tubuh dan radiofarmaka. Secara umum radiofarmaka menyumbang dosis lebih besar dibandingkan CT	Perhitungan didasarkan pada dosis efektif dan tidak mengaitkan nilai DRL sebagai alat evaluasi serta optimasi protokol
2.	(Abe <i>et al.</i> 2020)	Menetapkan DRL nasional jepang tahun 2020 untuk pemeriksaan kedokteran nuklir termasuk		Jepang sudah memiliki nilai DRL, namun belum menghitung dosis radiasi

		SPECT/CT dan PET/CT		nyata yang diterima pasien dan belum mengevaluasi kesesuaian dengan DRL pada tingkat rumah sakit
3.	(Alhujaili <i>et al.</i> 2025)	Perhitungan nilai DRL dan dosis efektif pada beberapa rumah sakit di Arab Saudi menggunakan Tc-99m MDP	Berdasarkan ketiga rumah sakit didapatkan nilai dosis efektif dan DRL yang berbeda-beda menyesuaikan dengan protocol setiap rumah sakit	Perhitungan hanya dilakukan menggunakan radiofarmaka Tc-99m MDP dan dilakukan pada pasien tanpa batas usia ataupun gender
4.	(Rudyanti <i>et al.</i> 2025)	Perhitungan nilai DRL berbasis aktivitas radiofarmaka pemindaian pada pemeriksaan SPECT	Bone scan memiliki nilai DRL yang lebih besar dibandingkan BAPETEN dan negara lain sehingga mengakibatkan peningkatan paparan radiasi pasien	Penelitian ini hanya menghitung nilai DRL pada pemindaian SPECT dan jenis pemeriksaan bone scan serta WBS menggunakan radiofarmaka Tc-99m MDP, MIBI dan I-131.