

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya prevalensi penyakit paru pasca pandemi COVID-19 telah menyebabkan meningkatnya kebutuhan pemeriksaan pencitraan dalam praktik klinis, khususnya CT thorax. Meskipun CT thorax menawarkan resolusi spasial yang tinggi dan visualisasi struktur bronkial dengan sangat detail, namun paparan radiasi ionisasi yang cukup tinggi menjadi perhatian utama terutama pada pasien yang memerlukan pemantauan berkala jangka panjang. Oleh karena itu, penerapan prinsip ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) menjadi sangat relevan guna menekan risiko paparan berlebih tanpa mengurangi manfaat diagnostik. Prinsip tersebut mendorong berkembangnya inovasi penerapan protokol CT dosis rendah (*Low Dose Computed Tomography* atau LDCT) (Feghali *et al.*, 2024).

Pengembangan protokol LDCT bertujuan untuk menurunkan dosis radiasi yang diterima oleh pasien tanpa mengurangi kualitas citra secara signifikan. Penerapan protokol LDCT mampu menurunkan CTDIvol (*Computed Tomography Dose Indeks Volume*) hingga 91% namun tetap mempertahankan parameter kualitas citra yang optimal (Kartika *et al.*, 2021). LDCT tetap memiliki sensitivitas tinggi dalam mendeteksi paru meskipun dilakukan pengurangan dosis secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa protokol LDCT yang dirancang secara optimal dapat memberikan hasil diagnostik yang setara dengan CT dosis standar, sehingga berpotensi menjadi solusi efektif untuk pemantauan pasien yang memerlukan pemeriksaan berulang (Jo *et al.*, 2023).

Protokol LDCT telah banyak digunakan dalam skrining kanker paru dan deteksi nodul, namun efektivitasnya dalam kondisi non neoplastik seperti bronkiektasis masih menjadi perdebatan. Beberapa penelitian yang melibatkan pasien dengan infeksi paru, seperti pada pasien neutropenik menunjukkan penurunan sensitivitas dalam mendeteksi *ground glass opacity* ketika

menggunakan LDCT, dengan sensitivitas hanya 64,4% dibandingkan 82,2% pada CT dosis standar. Salah satu teknologi terbaru adalah teknologi *Photon Counting Computed Tomography* (PCCT), yang mampu meningkatkan efisiensi deteksi sinyal sehingga citra yang dihasilkan tetap tajam meskipun dosis radiasinya diturunkan (Frings *et al.*, 2024). Kondisi ini menunjukkan adanya keterbatasan dalam pemanfaatan LDCT secara luas untuk penyakit yang memerlukan pemantauan struktur paru secara detail dan konsisten, seperti bronkiektasis (Agadakos *et al.*, 2024).

Berbeda dengan LDCT konvensional yang umumnya menggunakan teknologi *Energy Integrating Detector* (EID), PCCT mampu mendeteksi dan menghitung setiap foton sinar-X secara individual sehingga meningkatkan efisiensi deteksi sinyal. Akibatnya, PCCT dapat menghasilkan resolusi spasial yang lebih tinggi, *noise* yang lebih rendah, serta kualitas citra yang lebih baik dibandingkan sistem CT konvensional pada tingkat dosis yang sama. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa PCCT mampu mempertahankan bahkan meningkatkan nilai SNR dan CNR pada pencitraan dosis rendah, sehingga berpotensi mengatasi keterbatasan yang masih ditemukan pada penerapan LDCT konvensional, khususnya untuk evaluasi struktur bronkus yang memerlukan detail anatomi tinggi seperti pada kasus bronkiektasis (Frings *et al.*, 2024).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penerapan algoritma rekonstruksi secara signifikan akan meningkatkan *Signal Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast Noise Ratio* (CNR), sehingga memungkinkan pemindaian pada dosis rendah tanpa mengurangi hasil diagnostiknya. Dalam konteks pemantauan pasien bronkiektasis, hal ini berpotensi besar karena pasien memerlukan pemeriksaan pencitraan secara berkala sepanjang hidupnya. Meskipun demikian, penelitian-penelitian yang berfokus pada penggunaan LDCT di Indonesia secara spesifik untuk penyakit bronkiektasis masih sangat terbatas. Sebagian besar literatur saat ini lebih banyak menyoroti penggunaan LDCT untuk mendeteksi kanker paru atau infeksi COVID-19, sementara penelitian terhadap penyakit seperti bronkiektasis masih belum banyak dilakukan.

Berbeda dari sebagian besar penelitian terdahulu yang memanfaatkan protokol LDCT terutama untuk skrining kanker paru atau evaluasi penyakit infeksi akut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas citra CT thorax menggunakan parameter kuantitatif sebagai pendekatan dalam mengkaji potensi penerapan protokol LDCT dengan teknologi PCCT dalam pemantauan pasien bronkiektasis sebagai penyakit paru kronis non neoplastik. Penelitian yang secara khusus menginvestigasi hubungan antara penurunan dosis radiasi dan kualitas citra diagnostik PCCT pada kasus bronkiektasis, terutama yang dilakukan dalam praktik klinis di Indonesia, hingga saat ini masih sangat terbatas. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menghadirkan kebaruan berupa data empiris mengenai efektivitas penerapan protokol LDCT dengan modalitas PCCT untuk mendukung pemantauan jangka panjang pasien bronkiektasis dengan tetap menerapkan prinsip proteksi radiasi.

1.2 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada evaluasi kualitas citra CT thorax pasien bronkiektasis menggunakan data sekunder yang diperoleh dari arsip citra PCCT pada sistem *Picture Archiving and Communication System* (PACS) di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara. Analisis kualitas citra dilakukan secara kuantitatif melalui pengukuran nilai *mean*, standar deviasi (SD), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *Contrast-to-Noise Ratio* (CNR). Pengukuran dilakukan pada *region of interest* (ROI) paru, mediastinum, dan *background* menggunakan *software 3D Slicer*. Penelitian ini tidak mencangkup perbandingan langsung dengan sistem *Energy Integrating Detector Computed Tomography* (EID-CT), serta tidak mengevaluasi akurasi diagnostik maupun dosis radiasi pasien.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kualitas citra PCCT pasien bronkiektasis berdasarkan parameter *mean*, standar deviasi, SNR, dan CNR;
2. Mengkaji potensi teknologi PCCT dalam meningkatkan kualitas citra berdasarkan hasil analisis dan studi literatur.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan rekomendasi klinis kepada dokter dan radiolog dalam pemilihan modalitas *imaging* yang efektif dan aman untuk pemantauan pasien bronkiektasis;
2. Membantu rumah sakit dan institusi kesehatan dalam menetapkan protokol radiologi dengan dosis rendah tanpa mengurangi akurasi diagnostik;
3. Memberikan gambaran mengenai kualitas citra CT thorax serta potensi pengembangan teknologi PCCT dalam meningkatkan kualitas pencitraan medis.

1.5 Orisinalitas Penelitian

Tabel 1.1 merupakan ringkasan penelitian terdahulu yang menunjukkan judul dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan kualitas citra CT thorax, optimasi dosis radiasi, dan pengembangan teknologi *Photon Counting Computed Tomography* (PCCT) sebagai modalitas pencitraan paru.

Tabel 1.1 Tabel Orisinalitas Penelitian

Judul Penelitian	Hasil Penelitian
<i>The Effects Of High Dose and Low Dose Protocols In Thorax's CT Scan Image Quality</i>	Penelitian ini membandingkan kualitas citra CT thorax menggunakan protokol dosis tinggi dan dosis rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa protokol dosis rendah

	mampu menurunkan nilai CTDI_{vol} hingga sekitar 91% dibandingkan protokol dosis tinggi dengan kualitas citra yang masih dapat diterima untuk keperluan diagnostik, sehingga berpotensi digunakan pada pemeriksaan yang memerlukan pemantauan berulang.
<i>Ultra-low-dose Chest CT Protocol During the Second Wave of COVID-19 Pandemic: A Double-Observer Prospective Study on 250 Patients to Evaluate its Detection Accuracy</i>	Penelitian ini mengevaluasi akurasi diagnostik <i>ultra-low-dose chest CT</i> pada pasien COVID-19. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun dosis radiasi diturunkan secara signifikan, citra yang dihasilkan masih mampu memberikan informasi diagnostik yang memadai dengan tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi kelainan paru.
<i>75% Radiation Dose Reduction Using Deep Learning Reconstruction on Low-Dose Chest CT</i>	Penelitian ini mengevaluasi penggunaan <i>Deep Learning Reconstruction (DLR)</i> pada CT thorax dosis rendah dengan pengurangan dosis hingga 75%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan DLR mampu meningkatkan kualitas citra melalui peningkatan SNR dan CNR serta menurunkan <i>noise</i> citra, sehingga kualitas diagnostik tetap dapat dipertahankan meskipun dosis radiasi diturunkan secara substansial.
<i>Image Quality Assessment in Low-Dose COVID-19 Chest CT</i>	Penelitian ini menilai kualitas citra pada pemeriksaan CT thorax dosis rendah. Hasil

<i>Examinations</i>	penelitian menunjukkan bahwa optimasi parameter pemindaian memungkinkan penurunan dosis radiasi tanpa mengurangi kualitas citra secara bermakna, sehingga prinsip ALARA dapat diterapkan dengan tetap mempertahankan kemampuan diagnostik.
<i>The Use of Low-Dose Chest Computed Tomography for the Diagnosis and Monitoring of Pulmonary Infections in Patients with Hematologic Malignancies</i>	Penelitian ini mengevaluasi penggunaan LDCT untuk diagnosis dan pemantauan infeksi paru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LDCT memiliki kemampuan yang baik dalam pemantauan penyakit paru, namun sensitivitasnya dalam mendeteksi <i>ground glass opacity</i> lebih rendah dibandingkan CT dosis standar sehingga masih terdapat keterbatasan pada beberapa kondisi klinis tertentu.
<i>Low-Dose High-Resolution Chest CT in Adults with Cystic Fibrosis: Intraindividual Comparison Between Photon-Counting and Energy-Integrating Detector CT</i>	Penelitian ini membandingkan PCCT dengan EID-CT pada pasien fibrosis kistik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PCCT mampu menghasilkan resolusi spasial yang lebih tinggi, menurunkan <i>noise</i> citra, serta mengurangi dosis radiasi hingga sekitar 42% dibandingkan EID-CT tanpa mengurangi kualitas diagnostik citra.
<i>Photon-Counting CT Versus Energy-Integrating Detectors for Cardiac Imaging: A Systematic Review of Evidence from In Vivo</i>	Penelitian ini merupakan tinjauan sistematis yang membandingkan PCCT dan EID-CT berdasarkan kualitas citra dan dosis radiasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PCCT

<i>Human Studies on Image Quality and Radiation Dose</i>	secara konsisten memberikan kualitas citra yang lebih baik, resolusi yang lebih tinggi, dan efisiensi dosis radiasi yang lebih optimal dibandingkan teknologi CT konvensional.
--	--

<i>Thoracic Applications of Photon-Counting CT: Where Are We After 3 Years of Clinical Implementation?</i>	Penelitian ini meninjau perkembangan implementasi klinis PCCT pada pencitraan thorax. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PCCT memberikan peningkatan kualitas citra, pengurangan artefak dan <i>noise</i> , serta mendukung evaluasi struktur paru secara lebih detail dibandingkan CT konvensional, sehingga berpotensi menjadi teknologi pencitraan thorax masa depan.
--	--
