

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tuberkulosis (TB) merupakan penyakit menular akibat infeksi oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Penularan terjadi melalui udara ketika tetesan nuclei berukuran 1 hingga 5  $\mu\text{m}$  yang mengandung bakteri dikeluarkan oleh individu terinfeksi. Ketika batuk, berbicara, bernyanyi, atau bersin (Migliori dkk., 2021). Data dari “Global Tuberculosis Report 2024” oleh WHO menunjukkan bahwa pada tahun 2023 kasus tuberkulosis mencapai 10,8 juta jiwa. Jumlah tersebut mengalami peningkatan sebesar 4,6% dari tahun sebelumnya. Indonesia merupakan salah satu negara penyumbang kasus TB terbesar di dunia dengan total 10% kasus. TB dapat menginfeksi semua usia salah satunya anak-anak. Jumlah kasus pada anak-anak mencapai 1,3 juta kasus yang menyumbang 12% dari total kasus TB. Total kematian akibat TB berjumlah 1,25 juta jiwa yang menjadikan TB salah satu penyakit mematikan (World Health Organization, 2024).

Deteksi awal menjadi sangat penting untuk mencegah persebaran TB. Upaya deteksi awal TB di Indonesia berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 364/MENKES/SK/V/2009 tentang Pedoman Penanggulangan Tuberkulosis (TB), deteksi awal TB masih terbatas pada hasil pemeriksaan klinis, pemeriksaan dahak (sputum) di laboratorium yang disebut pemeriksaan Basil Tahan Asam (BTA), foto sinar-X thorax konvensional, dan CT Scan. CT Scan masih belum menjadi metode standar karena biaya yang lebih mahal dibandingkan beberapa metode lainnya (Utami dkk., 2025). Foto sinar-X thorax konvensional dan CT Scan merupakan metode deteksi berbasis pencitraan medis yang sering digunakan. Foto sinar-X thorax konvensional dan CT Scan merupakan modalitas yang memanfaatkan radiasi pengion. Kedua modalitas tersebut memiliki keunggulan yaitu waktu pemeriksaan yang cepat (Jamal dkk., 2020). Hasil pencitraan medis memiliki peran penting dalam mendeteksi kelainan jaringan dan dugaan awal diagnosis TB di berbagai bagian tubuh (Alshoabi dkk., 2022). Hasil CT Scan juga dapat digabungkan dengan hasil uji sputum BTA untuk mendeteksi

TB (Utami dkk., 2025). Penggunaan CT scan yang ekstensif menimbulkan kekhawatiran mengenai potensi timbulnya kanker akibat radiasi yang dihasilkan. Potensi tersebut meningkat apabila terkena organ yang memiliki sifat radiosensitif (Layman dkk., 2021). Pasien anak-anak memiliki organ yang lebih sensitif terhadap radiasi dibandingkan pasien dewasa sehingga penggunaan modalitas berbasis radiasi pengion dapat meningkatkan potensi karsinogenik (Jamal dkk., 2020). Dosis yang diserap oleh organ perlu diukur dan dilakukan studi untuk mengoptimalkannya. Konsep ALARA (*as low as reasonably achievable*) dapat diterapkan pada proses tersebut sehingga dosis yang diterima oleh pasien anak-anak sesuai dengan kebutuhan tanpa mengurangi kualitas citra yang dihasilkan (Pengpan dkk., 2022).

Proses pengukuran dosis yang diserap oleh organ dan optimalisasinya sulit apabila dilakukan secara langsung. Pengukuran tersebut seringkali dilakukan melalui modalitas seperti fantom (Pandiangan dan Bali, 2021). *Fantom* dibuat menggunakan material yang memiliki sifat radiologis seperti jaringan tubuh manusia sehingga proses interaksi antara sinar-X dan jaringan tubuh manusia dapat diketahui (Jamal dkk., 2020). Fantom PMMA (*Polymethyl Methacrylate*) merupakan fantom standar yang direkomendasikan oleh *International Electrotechnical Commission* (IEC) untuk mengukur CTDI (*Computed Tomography Dose Index*). Fantom tersebut memiliki desain silinder padat dengan diameter 16 cm dan 32 cm, yang menggambarkan bagian kepala dan tubuh pasien, baik pasien dewasa maupun anak-anak. Fantom tersebut juga memiliki beberapa lubang untuk menempatkan dosimeter seperti *pencil ion* chamber atau dosimeter jenis lain untuk mengukur dosis yang diterima fantom (DeWerd dan Lawless, 2014).

Fantom juga memiliki bentuk yang dirancang menyerupai anatomi organ manusia, yang dikenal sebagai fantom antropomorfik. Pengembangan fantom jenis ini didorong oleh kebutuhan data dosimetrik yang lebih kompleks dan representatif terhadap kondisi organ yang sebenarnya (DeWerd dan Lawless, 2014; Wegner dkk., 2023). Namun, fantom antropomorfik maupun fantom PMMA memiliki beberapa keterbatasan, terutama dari segi biaya yang relatif mahal (Hernandez-

Giron dkk., 2019; Shofiana dkk., 2021). Selain itu, ketersediaan fantom yang mampu merepresentasikan kondisi organ sehat dan organ yang mengalami kelainan, khususnya paru-paru, masih terbatas (Mei dkk., 2022). Oleh karena itu, pengembangan fantom alternatif dengan biaya lebih terjangkau dan material yang mudah diperoleh di pasaran menjadi kebutuhan yang mendesak untuk mendukung studi dosimetri dan pencitraan medis yang lebih spesifik.

Beberapa pengembangan fantom alternatif telah dilakukan. Pengembangan fantom menggunakan *Polyester Resin* dan *Methyl Ethyl Ketone Peroxide* oleh Shofiana dkk. (2021) merupakan salah satunya. Penelitian tersebut berhasil menggambarkan hubungan antara efek *tube voltages* dan berbagai *Field of View* (FOV) pada fantom namun demikian fantom yang dikembangkan belum spesifik pada thorax atau paru-paru. Fantom yang dikembangkan oleh Jamal dkk. (2020) adalah fantom paru-paru anak menggunakan *beeswax* (lilin lebah) dan *Polyurethane* (PU) *Foam*. Penelitian tersebut berfokus pada dosis yang diterima hanya pada organ paru-paru dan jantung. Kesesuaian antara fantom dan organ asli belum dibahas lebih mendalam. Penelitian tersebut juga belum mengakomodasi pencitraan terkait penyakit paru-paru. Pengembangan fantom paru-paru anak oleh Ali dan Murshedi (2023) menggunakan PVC dan cork untuk material pengganti jaringan paru-paru dan air sebagai material pengganti jaringan lunak. Fantom yang dikembangkan memiliki fleksibilitas karena ukurannya dapat disesuaikan dengan usia pasien. Kekurangan pada penelitian tersebut adalah struktur fantom yang dikembangkan belum menyerupai struktur asli organ, selain itu nilai *Hounsfield Unit* (HU) antara jaringan asli dan fantom masih memiliki perbedaan yang signifikan. Desain fantom yang dibuat merupakan desain lepas pasang yang mengakibatkan kurang efektif dan efisien ketika digunakan.

Fantom lain yang telah dikembangkan oleh Pengpan dkk. (2022) menggunakan *Resin Polyester* dan campuran *Calcium Carbonate* dengan resin serta *PU Foam* sebagai material pengganti jaringan lunak. Penelitian tersebut berhasil menunjukkan dosis yang diserap fantom dan parameter uji yang komprehensif. Penelitian tersebut masih belum menunjukkan kesesuaian nilai HU material

pengganti dengan jaringan asli. Penelitian tersebut juga hanya berfokus pada teknik pencitraan sinar-X dan optimasi dosis. Fantom lainnya yang berhasil dikembangkan oleh Rodgers dkk. (2024) adalah fantom paru-paru anak yang menggunakan *PMMA*, *cork*, dan *silicone rubber* sebagai material pengganti jaringan asli. Fantom yang dikembangkan menggunakan potongan paru-paru secara axial. Fokus pengembangan fantom adalah validasi nilai HU dan mengetahui dosis yang diserap oleh organ paru-paru dan jaringan di sekitarnya. Kekurangan pada penelitian tersebut adalah nilai HU material pengganti masih belum mendekati nilai HU jaringan asli. Nisa dkk. (2025) berhasil mengembangkan fantom paru-paru anak menggunakan *PMMA*, *PU Foam*, dan gliserin untuk menggambarkan pencitraan pneumonia pada pasien anak-anak. Penelitian tersebut menggunakan fantom potongan coronal. Pengembangan fantom pada penelitian tersebut berhasil memvalidasi nilai HU material pengganti. Kekurangan pada pengembangan fantom tersebut adalah lesi pneumonia belum tergambar secara baik karena potongan coronal yang digunakan belum merepresentasikan struktur tiga dimensi paru-paru. Selain itu, nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dan *Contrast to Noise Ratio* (CNR) dari fantom masih belum baik. Penelitian lain yang mendukung pengembangan fantom adalah penelitian Heryani dkk. (2020) yang memformulasikan komposisi optimal antara resin dan *calcium carbonate* sebagai material substitusi tulang.

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan dan beberapa fantom yang telah dikembangkan, akan dilakukan penelitian dan pengembangan fantom paru-paru anak untuk validasi dosis dan kualitas citra radiografi tuberkulosis (TB) menggunakan material pengganti yang lebih ekonomis dan mudah ditemui di pasaran. Fantom dikembangkan untuk pencitraan CT TB pada pasien anak-anak yang hingga saat ini masih belum banyak dieksplorasi. Fantom yang akan dikembangkan menggunakan material *PMMA* sebagai material pengganti jaringan lunak (Nisa dkk., 2025; Pengpan dkk., 2022; Rodgers dkk., 2024). Jaringan paru-paru akan digunakan material pengganti berupa *PU Foam* (Nisa dkk., 2025). Campuran resin dan *Calcium Carbonate* digunakan sebagai material pengganti jaringan tulang rusuk (Heryani dkk., 2020; Pengpan dkk., 2022). Material lain yang digunakan adalah gliserin yang memiliki karakteristik seperti cairan paru-paru yang

dikombinasikan dengan resin (Jamal dkk., 2020; Nisa dkk., 2025) dan *Calcium Carbonate* untuk merepresentasikan lesi tuberkulosis. Beberapa material yang dipilih memiliki selain sudah terbukti sebagai material substitusi jaringan tubuh juga tergolong ekonomis sehingga akan cenderung lebih mudah dikembangkan pada lokasi dengan sumber daya terbatas. Fantom yang telah dikembangkan kemudian akan dilakukan validasi dengan beberapa parameter seperti SNR, CNR, dan dosis yang diterima. Penggunaan parameter validasi tersebut selain dapat memvalidasi kualitas citra secara kuantitatif juga dapat memberikan kontribusi nyata terhadap optimasi protokol pencitraan TB pada anak-anak (Mei dkk., 2022; Nisa dkk., 2025; Pengpan dkk., 2022).

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan fantom paru-paru anak dengan material alternatif yang lebih ekonomis dan mudah ditemukan di pasaran.
2. Melakukan validasi kesesuaian antara fantom dan jaringan asli melalui nilai *Hounsfield Unit* (HU).
3. Memodelkan pencitraan penyakit tuberkulosis pada pasien anak-anak melalui representasi lesi tiruan pada fantom.
4. Mengukur besar dosis yang diserap oleh fantom selama proses pencitraan.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah memperoleh informasi mengenai kesesuaian fantom dengan jaringan asli melalui parameter-parameter yang telah ditentukan sehingga dapat dijadikan referensi pada penelitian dengan topik yang serupa. Penelitian ini juga menghasilkan fantom alternatif untuk pencitraan tuberkulosis dengan material yang mudah ditemukan dan lebih ekonomis serta dapat digunakan sebagai modalitas *quality control* (QC) di kemudian hari.