

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik berenergi tinggi yang banyak dimanfaatkan di bidang kesehatan, industri, dan penelitian. Sinar-X berperan penting di bidang medis, terutama dalam radiografi diagnostik, CT-scan, serta terapi radiasi untuk pengobatan kanker. Sistem pembangkitan sinar-X terdiri atas tabung sinar-X, anode, dan katode. Pembentukan sinar-X terjadi ketika elektron dari katode menumbuk anode dan menghasilkan sinar-X *bremsstrahlung* dan karakteristik (Bushberg dkk., 2012). Sinar-X berpotensi menimbulkan paparan radiasi yang tinggi sehingga pengoperasian sistemnya harus mengikuti prinsip proteksi radiasi, yaitu justifikasi, optimalisasi, dan batas dosis. Optimalisasi pencitraan medis bertujuan untuk mengurangi dosis radiasi tanpa menurunkan kualitas diagnostik, sesuai prinsip *As Low As Reasonably Achievable* (ALARA) (ICRP, 2007).

Seiring dengan pentingnya pemanfaatan sinar-X di berbagai bidang, pengembangan dan optimalisasi teknologinya menjadi hal yang krusial. Hal ini didukung dengan banyaknya riset berbasis eksperimen yang dilakukan di instalasi kesehatan dan laboratorium yang memiliki fasilitas lengkap. Namun, pelaksanaan riset eksperimen menghadapi sejumlah tantangan besar, seperti keterbatasan peralatan, biaya operasional yang tinggi, kebutuhan izin proteksi radiasi yang kompleks, serta risiko paparan. Di sisi lain, fleksibilitas dalam variasi parameter eksperimen juga terbatas, sehingga pengembangan teknologi baru menjadi kurang optimal (Muraro dkk., 2020). Kondisi inilah yang mendorong perlunya pendekatan alternatif melalui riset berbasis komputasi untuk melengkapi dan mempercepat kemajuan penelitian di bidang ini. Salah satu metode komputasi yang efektif dan banyak digunakan adalah Monte Carlo.

Simulasi Monte Carlo merupakan metode statistik yang menelusuri perjalanan partikel dari awal hingga menghilang, memungkinkan pemodelan interaksi partikel

secara acak namun terukur. Dengan pendekatan ini, distribusi dan pembangkitan sinar-X dapat diprediksi dengan akurasi tinggi. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan adalah *Monte Carlo N-Particle* (MCNP), yang digunakan untuk perhitungan numerik dan analisis (Wardani dan Suharyana, 2023). Dalam penerapannya, *benchmarking* menjadi tahap penting untuk memvalidasi model simulasi terhadap data eksperimen atau referensi terpercaya. *Benchmarking* bertujuan untuk memastikan ketepatan hasil simulasi dan mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian. Hasil *benchmarking* yang telah tervalidasi diasumsikan dapat digunakan sebagai acuan pengembangan sistem sinar-X yang telah ada maupun yang masih berkembang (Petrov dkk., 2016).

Seiring waktu, penelitian sinar-X berbasis MCNP terus berkembang dan mencakup berbagai aplikasi. Studi yang telah dilakukan sebelumnya antara lain, simulasi spektrum sinar-X dalam radiologi diagnostik dan mammografi (Ay dkk., 2004), dan simulasi dan perbandingan spektrum sinar-X radiologi dengan kode MCNP dan GEANT4 (Adeli dkk., 2015). Selain itu, telah dilakukan juga penelitian mengenai simulasi efek perisai sinar-X dengan bahan yang berbeda menggunakan MCNP5 (Zhang dkk., 2020). Hasil berbagai studi menunjukkan bahwa simulasi MCNP mampu mereplikasi hasil eksperimen dengan tingkat kesesuaian yang tinggi. Penelitian ini berfokus untuk menganalisis perbedaan spektrum sinar-X yang dihasilkan dalam simulasi tabung sinar-X dengan variasi jarak detektor dan tegangan tabung yang digunakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, riset ini difokuskan pada kegiatan *benchmarking* pesawat sinar-X menggunakan simulasi Monte Carlo berbasis MCNP. Simulasi yang dilakukan akan membentuk spektrum sinar-X dari tabung sinar-X, dengan mengatur tegangan tabung (kVp), material anode, sudut anode, dan ketebalan filter. *Benchmarking* yang dilakukan pada geometri pesawat sinar-X meningkatkan fleksibilitas simulasi dalam penelitian energi sinar-X. Hal ini memungkinkan berbagai variasi seperti bentuk dan ukuran anode, *field size*, jenis serta ketebalan filter, dan parameter lainnya untuk dikaji secara lebih efisien.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *benchmarking* spektrum energi pesawat sinar-X hasil simulasi Monte Carlo dengan spektrum sinar-X SpekCalc sebagai acuan.

## **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh *benchmark* spektrum energi pesawat sinar-X berdasarkan spektrum sinar-X yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi tabung sinar-X yang telah ditetapkan.