

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mengukur dosis serap di jaringan adalah salah satu hal penting dalam fisika untuk memahami batas dosis yang diberikan kepada pasien dan pekerja yang terpapar radiasi (Hiswara, 2020). *Phantom* merupakan alat bantu dalam memahami bagaimana tubuh. Alat ini digunakan oleh lembaga pendidikan untuk merawat pasien serta menguji alat khususnya dalam radiologi (Mufida dkk., 2020). *Phantom* adalah alat yang sangat penting dalam bidang radiologi dan radioterapi, digunakan sebagai bahan simulasi untuk meniru keadaan jaringan tubuh manusia. Pada dasarnya, *phantom* digunakan untuk menggantikan objek hidup dalam berbagai pengujian, seperti mengukur dosis radiasi, mengkalibrasi alat, menilai penyebaran dosis, dan memvalidasi perangkat lunak perencanaan terapi. Dengan adanya *phantom*, tenaga medis dan peneliti dapat melakukan pengujian dengan risiko yang lebih rendah tanpa perlu melibatkan pasien secara langsung. Karena itu, kualitas *phantom* sangat penting untuk memastikan hasil pengukuran dan simulasi yang akurat. Ini karena *phantom* yang ideal harus memiliki sifat fisik dan radiologis yang mirip dengan jaringan manusia. Namun, *phantom* komersial sering kali mengalami masalah karena harganya yang tinggi dan keterbatasan dalam bentuk dan jenis bahan yang digunakan. Ini mendorong perlunya inovasi untuk menciptakan *phantom* dari bahan lokal yang lebih terjangkau, mudah ditemukan, dan memiliki sifat fisik yang mirip dengan jaringan tubuh manusia (Wegner dkk., 2023).

Acuan desain fisik dan dimensi *phantom* lengan disesuaikan dengan standar *International Standard Organization (ISO) No 4037-1:2019* dan didukung dengan *ISO No 4037-2:2019* dan *ISO No 4037-3:2019* yang mengatur mengenai sumber referensi radiasi, prosedur kalibrasi dosimeter, serta metode dosimeter untuk pengukuran dosis radiasi dan ukuran diameter *phantom*. Pada pembuatan *phantom* telah dilakukan banyak penelitian dan dikembangkan di Indonesia mengingat adanya *phantom* ini sangat penting digunakan dalam bidang fisika medis. Ada beberapa kategori umum dari *phantom* yang berdasarkan pada bahan utama

penyusunnya, yaitu *Polimetil Metakrilat (PMMA)*. Pada *phantom* yang digunakan sesuai dengan standar ISO, bahan pengisi air diatur untuk menunjukkan dan menggambarkan komposisi tubuh manusia yang terdiri dari 60-70% air (Indah Prasetyowati Tri Purnama Sari, 2014). *Phantom* dengan media isian air tersebut dikenal sebagai *water phantom* atau *phantom* air. *Phantom* air telah lama digunakan sebagai standar internasional karena karakteristik radiologisnya menyerupai jaringan lunak manusia (Gargett dkk., 2020). Selain digunakan sebagai media pengisi, PMMA juga banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama *phantom* karena memiliki bentuk yang stabil, mudah dibentuk, serta mampu memberikan hasil pengukuran dosis yang baik (Pedro, 2024). Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan dinding akrilik yang dikombinasikan dengan inti berisi air dapat menghasilkan distribusi dosis yang lebih mendekati kondisi jaringan tubuh manusia (Tanooka dkk., 2013). Di sisi lain, beberapa material padat tertentu diketahui memiliki sifat yang mendekati air dalam pengukuran dosimetri radiasi dengan nilai deviasi yang relatif kecil sehingga berpotensi digunakan sebagai material alternatif *phantom* (Rahman dkk., 2018). Meskipun demikian, penggunaan *phantom* air masih memiliki beberapa keterbatasan, terutama dari segi kepraktisan, stabilitas, serta risiko kebocoran saat digunakan. Selain itu, penelitian yang membahas perbandingan karakteristik radiologis *phantom* PMMA dengan variasi media seperti *nylon* dan *polyester* terhadap standar air, khususnya untuk pengukuran menggunakan TLD Hp(10) menggunakan sumber Cs-137, masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian serta potensi penggunaan *nylon* dan *polyester* sebagai alternatif *phantom* yang lebih praktis namun tetap mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat.

Ketersediaan *phantom* lengan hingga saat ini masih terbatas, sehingga belum semua rumah sakit maupun laboratorium di Indonesia, khususnya di wilayah Jawa Timur, memiliki *phantom* lengan yang sesuai standar ISO. Kondisi tersebut dapat menyebabkan sebagai institusi harus melakukan impor *phantom* dengan biaya yang relatif tinggi, sehingga jumlah ketersediaannya masih belum sebanding dengan kebutuhan penggunaan di Indonesia (Sari dkk., 2023). Pada beberapa tahun terakhir, telah banyak dikembangkan menggunakan teknologi pembuatan desain *phantom* radiologis, namun berdasarkan dari hasil penelitian terdahulu

menunjukkan belum adanya kesesuaian dengan standar ISO *phantom*. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perbedaan densitas serta kemampuan suatu material dalam menyerap radiasi dapat memengaruhi nilai dosis yang dihasilkan. Oleh karena itu, pemilihan bahan *phantom* perlu diperhatikan secara cermat agar tidak menimbulkan perbedaan dosis yang signifikan dalam aplikasi klinis maupun penelitian (Sari dkk., 2023). Temuan tersebut menunjukkan pentingnya pengembangan *phantom* menggunakan material yang lebih mudah diperoleh, memiliki biaya yang lebih terjangkau, namun tetap mempunyai karakteristik fisik dan sifat radiologis yang mendekati jaringan tubuh manusia.

Pada penelitian ini dilakukan perancangan dan validasi *phantom* berbahan lokal yang mengacu pada standar *International Standard Organization (ISO)* No 4037-1:2019, ISO No 4037-2:2019, serta didukung oleh ISO No 4037-3:2019. *Phantom* yang dirancang berupa (*forearm phantom*) berbahan PMMA dengan variasi media isian air berupa air terionisasi, variasi media isian *nylon*, dan variasi media *polyester* (Aslam dkk., 2016). Penggunaan media isian PMMA berdasarkan penelitian terdahulu dikarenakan PMMA memiliki kemiripan dengan jaringan lunak (Shaiju dkk., 2020). Sementara itu, penggunaan media isian air dirancang sebagai acuan pembanding karena air memiliki kesesuaian yang baik dengan karakteristik jaringan tubuh manusia sesuai standar ISO (IAEA, 2000). Sementara itu, *nylon* memiliki kepadatan yang hampir sama dengan air, sehingga bisa digunakan sebagai media untuk mensimulasikan jaringan lunak (Sookpeng dkk., 2016). *Polyester*, yang termasuk dalam kelompok resin, juga memudahkan dalam tahap pembentukan serta meningkatkan ketahanan struktur (Khallouqi, Halimi, & El Rhazouani, 2024).

Evaluasi *phantom* dilakukan melalui dosis serap, dosis ekuivalen, uji fisik menggunakan sumber Cs-137. Sumber radiasi Cs-137 digunakan karena memiliki energi gamma yang tetap sebesar 662 keV dan digunakan dalam ISO 4037-1:2019 sebagai sumber radiasi referensi (Vishwakarma dkk., 2013). Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi *phantom* radiologi berbentuk lengan silinder berbahan PMMA dengan variasi media pengisi air, *nylon* dan *polyester*. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan desain *phantom* lokal yang sesuai standar ISO, memiliki karakteristik radiologis yang mendekati kondisi sebenarnya,

serta dapat digunakan sebagai alternatif yang lebih praktis dan ekonomis dalam pengukuran dosimetri.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana rancangan *phantom* lengan berbahan filamen PMMA berdasarkan dimensi dan volume phantom lengan sesuai standar ISO 4037:2019 dengan media berisi air, *nylon* dan *polyester*?
2. Bagaimana sifat radiologis rancangan atau desain *phantom* lengan berdasarkan standar ISO 4037:2019, khususnya dosis serap (*absorbed dose*) dan dosis ekuivalen dengan metode uji menggunakan TLD Hp(10)?
3. Bagaimana perbandingan hasil uji radiologis *phantom* lengan sesuai standar ISO 4037:2019 media berisi air, *nylon* dan *polyester* yang dicetak menggunakan filamen PMMA?

1.3 Batasan Masalah

1. Phantom yang dibuat berbentuk silinder sederhana menyerupai lengan dengan ukuran sesuai dengan desain penelitian.
2. Dimensi *Phantom* berdasarkan ISO 4037:2019 yang tertera pada *website* ISO dosimetri berbentuk silinder berukuran diameter luar 7,30 cm, panjang total silinder 30,00 cm yang terdiri atas panjang silinder 28,00 cm, dua tutup masing-masing 1,00 cm, serta ketebalan dinding phantom 0,25 cm dan ketebalan dinding tutup *phantom* 1,00 cm.
3. Pengujian sifat fisik hanya mencakup dimensi luar dan volume isi dari *phantom*.
4. Pengujian sifat radiologis dilakukan dengan mengukur dosis yang diserap, dosis ekuivalen, serta distribusi radiasi menggunakan sumber Cs-137.
5. Alat yang digunakan untuk mengukur dosis adalah *Thermoluminescence Dosimeter (TLD)* Hp(10).

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kesesuaian rancangan *phantom* lengan berbahan PMMA dengan variasi media air, *nylon* dan *polyester* yang sesuai dengan dimensi dan volume berdasarkan standar ISO 4037:2019.

2. Menganalisis sifat radiologis dari *phantom* lengan yang telah dirancang sesuai standar ISO 4037:2019, terutama terkait dosis serap (*absorbed dose*) dan dosis ekuivalen dengan metode uji menggunakan TLD Hp(10).
3. Membandingkan hasil uji radiologis antara *phantom* lengan berisi air, *nylon* dan *polyester* yang dicetak menggunakan filamen PMMA, sehingga dapat dievaluasi kesesuaian ketiga bahan tersebut sebagai alternatif *phantom* radiologi.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Membuat *phantom* alternatif yang lebih hemat, mudah didapatkan, dan bisa digunakan dalam praktik.
2. Berfungsi sebagai media simulasi yang sesuai untuk kegiatan belajar, penelitian, dan praktik dosimetri.
3. Menyediakan informasi ilmiah mengenai sifat fisik, radiologis, dan struktur mikro dan *phantom* untuk mendukung perkembangan ilmu fisika medis.

1.6 Hipotesis

1. *Phantom* lengan berbahan PMMA dengan variasi media isi *nylon* dan *polyester* dengan dimensi sesuai standar ISO 4037:2019 memiliki respon dosis serap (*absorbed dose*) yang mendekati *phantom* lengan berisi air, dengan perbedaan nilai yang relatif kecil dalam batas toleransi pengukuran dosimetri, ketika diuji menggunakan sumber radiasi Cs-137 dan dosimeter TLD Hp(10).
2. Perbedaan densitas antara media air, *nylon* dan *polyester* memberikan pengaruh terhadap nilai dosis ekuivalen, namun perbedaan tersebut relatif kecil dan masih berada dalam batas toleransi dosimetri, sehingga keduanya menunjukkan kesetaraan radiologis yang mendekati.
3. *Phantom* lengan dari bahan PMMA berisi *nylon* dan bahan PMMA berisi *polyester* dapat digunakan sebagai alternatif pengganti air dalam pengujian radiologis berbasis standar ISO 4037:2019, terutama untuk aplikasi kalibrasi dan pengukuran Hp(10).