

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker merupakan penyebab utama kematian di seluruh dunia yang menyebabkan hampir 10 juta kematian pada tahun 2020 atau hampir satu dari enam kematian (Ferlay *et al.*, 2020). Berdasarkan data Globocan tahun 2020, jumlah penderita kanker seluruh dunia meningkat drastis dengan perkiraan tambahan hampir 19,3 juta kasus yang mana 10 juta diantaranya meninggal dunia (Sung H *et al.*, 2021). Tingginya angka kematian akibat kanker tentu menjadi beban yang berat bagi kesehatan masyarakat sehingga masalah kanker harus dapat segera ditangani dengan baik. Salah satu metode nuklir yang diakui untuk diagnosis dan terapi kanker adalah penggunaan isotop pemancar radiasi nuklir (radioisotop/radioisotop) (Soenarjo *et al.*, 2010). Radioisotop pemancar positron atau sinar gamma dengan energi rendah dapat digunakan untuk diagnosis kanker menggunakan modalitas *Positron Emission Tomography* (PET) atau *Single Photon Emission Computed Tomography* (SPECT). Sedangkan radioisotop yang memancarkan radiasi beta atau alfa dapat digunakan untuk terapi kanker pada pasien (Soenarjo *et al.*, 2010). Beberapa radioisotop memiliki fungsi ganda yaitu dapat digunakan untuk diagnosis dan terapi kanker yang biasa disebut sebagai radioisotop teranostik (Soenarjo *et al.*, 2010).

Radioisotop medis dapat diproduksi dengan menggunakan reaktor nuklir maupun akselerator khususnya siklotron. Produksi radioisotop medis menggunakan reaktor nuklir memiliki kelemahan yaitu investasinya sangat mahal. Saat ini pengembangan radioisotop medis bergeser ke siklotron karena investasinya yang lebih murah dan jenis radioisotop yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan reaktor nuklir. Salah satu radioisotop yang dapat diproduksi menggunakan siklotron adalah *Tembaga-64* (^{64}Cu) (Bakhtiari *et al.*, 2020). ^{64}Cu merupakan radioisotop pemancar partikel positron (β^-) dan beta (β^+) sehingga dapat digunakan untuk tujuan diagnostik (dengan partikel positron) dan terapi (dengan partikel beta) (Soenarjo *et al.*, 2010). Radioisotop ^{64}Cu dapat digunakan untuk

diagnosis dan terapi berbagai jenis kanker, termasuk kanker prostat, payudara, paru-paru, dan tumor neuroendokrin (Sun and Anderson, 2004).

Selama ini ^{64}Cu diproduksi secara langsung menggunakan berkas elektron yang ditembakkan ke target *Nikel-64* (^{64}Ni) melalui reaksi nuklir $^{64}\text{Ni} (p,n)^{64}\text{Cu}$ (Jeffery *et al.*, 2012). Namun, metode iradiasi ini memiliki kekurangan karena target ^{64}Ni harus ditempelkan pada permukaan emas melalui proses elektroplating yang menyulitkan kontrol ketebalan target sehingga produksi ^{64}Cu menjadi berkurang akibat ketebalan ^{64}Ni yang tidak optimal (Xie *et al.*, 2017). Selain itu, kelimpahan isotop ^{64}Ni di alam yang sangat kecil menjadikan harga ^{64}Ni sangat mahal dan ada kekhawatiran terkait ketersediaannya secara komersial (Soenarjo *et al.*, 2010). Oleh karena itu diperlukan metode baru dalam produksi ^{64}Cu . Penelitian ini mengusulkan metode baru untuk memproduksi ^{64}Cu sebagai radioisotop teranostik. Metode ini memanfaatkan neutron cepat yang dihasilkan dari iradiasi target primer titanium (Ti) di siklotron. Neutron sekunder yang dihasilkan dari iradiasi tersebut kemudian digunakan untuk memproduksi ^{64}Cu melalui reaksi nuklir $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$. Target *Zinc-64* (^{64}Zn) dipilih sebagai pengganti ^{64}Ni karena kelimpahannya yang jauh lebih tinggi. Selain itu, produksi ^{64}Cu menggunakan ^{64}Zn diperkirakan tidak akan menghasilkan impuritas ^{67}Cu , yang selama ini menjadi masalah dalam pemurnian radiokimia (Kambali and Febrianto, 2021).

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa penembakan proton menggunakan energi 18 MeV pada target air yang diperkaya (H_2^{18}O) dapat menghasilkan fluks neutron lebih dari $10^7 \text{ n/cm}^2\text{s}$ (Alloni and Prata, 2017). Perhitungan fluks neutron sekunder dengan kode *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS) oleh (Isdandy *et al.*, 2020) menunjukkan hasil sekitar $2,63 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$ selama iradiasi proton dengan energi 13 MeV. Penelitian (Auditore, Amato and Baldari, 2017) memperkirakan aktivitas ^{64}Cu sebesar 1,9 MBq/ μAh saat target ^{64}Zn ditempatkan di belakang target H_2^{18}O . Aktivitas tersebut dapat ditingkatkan dengan mengganti target air dengan titanium karena titanium menghasilkan fluks neutron lebih tinggi meskipun dengan energi proton yang lebih rendah (10-18 MeV) (Kambali and Febrianto, 2021; Kambali *et al.*, 2023).

Simulasi produksi ^{64}Cu melalui penembakan target ^{64}Zn menggunakan PHITS telah dilakukan pada studi sebelumnya (Kambali and Febrianto, 2021). Dalam penelitian tersebut neutron cepat sekunder diusulkan sebagai alternatif untuk menghasilkan radioisotop ^{64}Cu melalui reaksi nuklir $^{64}\text{Zn}(n, p)^{64}\text{Cu}$. Neutron cepat sekunder tersebut dihasilkan dari penembakan target Ti menggunakan proton berenergi 10 MeV dengan ketebalan target Ti divariasikan dari 0,01 hingga 0,1 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total fluks neutron cepat yang dihasilkan mencapai $1,70 \times 10^{12} \text{ n/m}^2\text{s}$. Hasil aktivitas radioaktif ^{64}Cu tercatat sebesar 2,33 MBq/ μAh dengan ketebalan Ti 0,03 cm. Kontaminan radioaktif yang paling signifikan selama proses penembakan diprediksi berupa isotop radioaktif seperti ^{60}Co dan ^{65}Zn dengan total hasil aktivitasnya diperkirakan mencapai 0,28 Bq/ μAh .

Mengingat kelimpahan ^{64}Zn yang relatif tinggi menarik untuk dilakukan perbandingan antara hasil produksi radioisotop ^{64}Cu secara teoritis dan eksperimental menggunakan target ZnO alami ($^{\text{Nat}}\text{ZnO}$) dan ZnO yang telah diperkaya (^{64}ZnO). Ekperimen pertama dalam produksi ^{64}Cu berbasis neutron sekunder menggunakan target ^{64}ZnO telah dilaporkan dalam penelitian (Kambali *et al.*, 2024). Namun, belum ada laporan yang membandingkan hasil produksi ^{64}Cu antara target alami dan target yang diperkaya. Selain itu, pembahasan mengenai kontaminan radioaktif yang dihasilkan dari interaksi proton dan neutron dengan sistem target juga belum dilaporkan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perhitungan teoritis hasil aktivitas ^{64}Cu dari target $^{\text{Nat}}\text{ZnO}$ dan ^{64}ZnO menggunakan kode PHITS serta membandingkannya dengan data eksperimen yang didapatkan. Selain itu, kontaminan radioaktif yang dihasilkan akibat interaksi proton dan neutron juga akan dibahas lebih jauh dalam penelitian ini.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat ^{64}Cu sebagai radioisotop menggunakan neutron sekunder dengan memanfaatkan target ^{64}Zn sebagai bahan dasar produksi,
2. Membandingkan hasil produksi ^{64}Cu dari target $^{\text{Nat}}\text{ZnO}$ dan ZnO yang diperkaya secara teoritis dan eksperimental (merujuk tujuan 1) untuk menilai efisiensi, kelimpahan serta aktivitas radioisotop yang dihasilkan,

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu dapat memberikan alternatif baru dalam produksi ^{64}Cu yang lebih efisien dan ekonomis sehingga dapat mendukung pengembangan teknologi nuklir untuk aplikasi medis di bidang diagnosis dan terapi kanker.