

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Computed Tomography Scan (CT-Scan) merupakan teknik pencitraan medis yang banyak digunakan dalam dunia klinis karena kemampuannya menghasilkan citra penampang tubuh dengan resolusi spasial yang tinggi. Efektivitas pencitraan CT-Scan sangat ditentukan oleh tingkat kontras antar jaringan. Namun, perbedaan densitas antara jaringan normal dan patologis terlalu kecil untuk dideteksi tanpa bantuan agen kontras. Oleh karena itu, agen kontras memiliki peranan penting dalam meningkatkan perbedaan atenuasi sinar-X antar jaringan sehingga kualitas visualisasi citra dapat ditingkatkan (Lusic & Grinstaff, 2013).

Agen kontras merupakan zat yang digunakan dalam pencitraan medis untuk meningkatkan kontras dalam tubuh sehingga jaringan atau organ yang diamati terlihat lebih jelas. Agen kontras pada CT-Scan yang masih menjadi standar saat ini berbasis *iodine*, namun penggunaan *iodine* menimbulkan permasalahan klinis yang signifikan karena *iodine* memerlukan dosis tinggi sehingga dapat meningkatkan risiko efek samping seperti terjadinya alergi dan gangguan fungsi ginjal (Nautiyal *et al.*, 2021; McDonald *et al.*, 2014). Oleh karena itu, penggunaan *iodine* membutuhkan pengawasan ketat dan tidak diberikan secara luas. Keterbatasan agen kontras *iodine* ini mendorong perlunya alternatif agen kontras berbasis nanopartikel dengan kemampuan atenuasi sinar-X yang lebih tinggi, stabilitas yang lebih baik, serta potensi penggunaan dosis yang lebih rendah (Lusic & Grinstaff, 2013).

Nanopartikel merupakan kumpulan atom, ion, atau molekul yang umumnya berukuran 1-100 nm yang terdiri dari logam, oksida logam, dan organik materi (Hasan *et al.*, 2015). Nanopartikel banyak dikembangkan karena memiliki banyak manfaat dan aplikasinya yang luas. Dalam aplikasi medis perkembangan nanopartikel logam telah banyak dimanfaatkan sebagai agen kontras alternatif

karena dapat meningkatkan sifat atenuasi sinar-X dalam pencitraan medis berbasis CT-Scan (Aslan *et al.*, 2020 ; Bonitatibus *et al.*, 2010).

Beberapa penelitian terdahulu telah melaporkan penggunaan nanopartikel logam sebagai agen kontras CT-Scan, seperti nanopartikel emas (Au NPs). Nanopartikel emas memiliki nomor atom (Z) tinggi sebesar 79 sehingga mampu menghasilkan peningkatan atenuasi yang signifikan dibandingkan agen kontras *iodine*. Namun, penggunaan nanopartikel emas juga memiliki keterbatasan, antara lain biaya material yang tinggi, potensi akumulasi jangka panjang di dalam tubuh, serta tantangan dalam produksi skala besar. Faktor-faktor tersebut membatasi penerapan nanopartikel emas secara luas dalam aplikasi klinis (Kim *et al.*, 2007; Xi *et al.*, 2012).

Sebagai alternatif, zirkonium dioksida mulai mendapatkan perhatian sebagai agen kontras CT-Scan yang potensial. Zirkonium memiliki nomor atom (Z) sebesar 40 dan densitas elektron yang besar, sehingga mampu meningkatkan atenuasi sinar-X. Selain itu, nanopartikel zirkonium dioksida dikenal sebagai material yang stabil secara kimia, serta memiliki biokompatibilitas yang baik. Zirkonium dioksida telah banyak digunakan dalam aplikasi biomedis seperti implan gigi dan tulang, yang menunjukkan tingkat keamanan yang tinggi terhadap jaringan biologis. Dibandingkan dengan nanopartikel emas, zirkonium dioksida memiliki biaya yang ekonomis dan potensi toksisitas jangka panjang yang lebih kecil, sehingga lebih menjanjikan untuk dikembangkan sebagai agen kontras CT-Scan (Huang *et al.*, 2011; Wang *et al.*, 2013).

Metode sintesis nanopartikel sangat mempengaruhi karakteristik fisik dan kimia material yang dihasilkan. Untuk melakukan sintesis nanopartikel dapat dilakukan secara kimia, fisika, dan biologis. Salah satu metode yang diterapkan dalam sintesis nanopartikel secara fisika yang dilakukan adalah *pulse laser ablation* (PLA) atau metode ablasi laser pulsa. Metode ini tergolong bersih, ramah lingkungan, sehingga menarik perhatian secara luas karena kemampuannya dalam menghasilkan nanopartikel yang memiliki ukuran, bentuk, dan tingkat kemurnian yang tinggi serta meminimalkan risiko kontaminasi (Nurhasanah *et al.*, 2023). Pada metode ini, berkas berenergi tinggi diarahkan ke target padat sehingga

material terablasir dan berinteraksi dengan medium cair untuk membentuk nanopartikel berukuran nano (Amendola & Meneghetti., 2009).

Dalam meningkatkan kestabilan nanopartikel zirkonium dioksida pada medium cair, digunakan alginat sebagai media sekaligus penstabil. Alginat merupakan biopolimer alami bersifat biokompatibel, tidak toksik, dan mudah larut dalam air. Alginat mampu berfungsi sebagai stabilizer dengan membentuk lapisan pelindung di permukaan nanopartikel sehingga mengurangi interaksi antarpartikel dan mencegah terjadinya aglomerasi. Selain itu, alginat memiliki viskositas rendah pada konsentrasi tertentu sehingga tidak mengganggu proses pencitraan CT-Scan (Lee & Mooney., 2012).

Penelitian sebelumnya mengenai sintesis dan karakterisasi nanopartikel zirkonium dioksida dalam berbagai media cair dengan ablasi laser pulsa Nd:YAG dan aplikasi antibakterinya yang telah dilakukan oleh Amalia *et al.*, (2024). Riset tersebut menunjukkan bahwa stabilitas dan ukuran nanopartikel yang kecil meningkatkan kemampuannya untuk menghambat pertumbuhan anti bakteri. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Hasan *et al.*, (2022). Riset tersebut mensintesis nanopartikel zirkonium dioksida secara hidrotermal dengan lantanida: kandidat potensial untuk pencitraan multimodal dengan hasil penelitian bahwa nanopartikel zirkonium dioksida yang didoping dengan Dysprosium (Dy) dan Holmium (Ho) menunjukkan sifat kristalinitas yang baik, stabilitas koloidal, dan biokompatibilitas yang tinggi dengan tingkat sitotoksitas dan fototoksitas yang rendah. Selain itu, nanopartikel ini menunjukkan potensi besar sebagai agen kontras multimodal untuk pencitraan medis. Beberapa penelitian lainnya terkait nanopartikel logam juga telah banyak dilakukan menggunakan ablasi laser pulsa sebagai agen kontras. Zirkonium dioksida digunakan pada penelitian ini untuk memberikan alternatif agen kontras berbasis nanopartikel yang memiliki kemampuan stabilitas tinggi, serta potensi penggunaan dosis yang lebih rendah dibandingkan *iodine*. Penelitian ini secara spesifik menggabungkan penggunaan ablasi laser pulsa untuk sintesis zirkonium dioksida dalam medium cair alginat sebagai agen kontras, sehingga penelitian ini memiliki nilai kebaruan yang kuat.

Untuk mengembangkan potensi nanopartikel zirkonium dioksida sebagai agen kontras pada CT-Scan, penelitian ini mencoba mensintesis nanopartikel zirkonium dioksida menggunakan metode ablasi laser pulsa dengan medium cair yang digunakan dalam penelitian ini adalah alginat. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya adalah *Ultraviolet-Visible Spectroscopy* (UV-Vis), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Transmission Electron Microscopy* (TEM) dan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Selanjutnya dilakukan pengujian secara *in vitro* untuk aplikasi agen kontras.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis nanopartikel zirkonium dioksida menggunakan metode ablasi laser pulsa (PLA) dalam medium cair alginat.
2. Menganalisis karakteristik nanopartikel zirkonium dioksida yang dihasilkan dengan melakukan uji UV-Vis, XRD, TEM dan FTIR.
3. Menguji nanopartikel zirkonium dioksida sebagai aplikasi agen kontras pada *CT-Scan* secara *in vitro*.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif sintesis nanopartikel yang lebih ramah lingkungan tanpa bahan kimia tambahan dan mampu menyediakan kandidat agen kontras yang lebih aman dan efektif yang dapat membantu meningkatkan hasil kontras pada CT-Scan.