

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bioimaging merupakan teknik pencitraan non-invasif yang digunakan untuk memvisualisasikan struktur dan aktivitas biologis dalam tubuh makhluk hidup. Teknik ini banyak digunakan dalam diagnosis penyakit, pemantauan terapi, serta penelitian sel dan jaringan. Aplikasi *bioimaging* membutuhkan material yang dengan sifat luminesensi yang kuat karena dengan sifat ini memungkinkan pengamatan struktur dan aktivitas biologis lebih selektif, akurat, dan tidak merusak jaringan melalui pancaran cahaya dari material luminesensi, dan dispersibilitas yang tinggi agar material tidak menggumpal dan mengendap, serta kompatibilitas yang baik terhadap sistem biologis.

Salah satu material magnetik-luminesensi yang banyak dikembangkan sebagai material *bioimaging* adalah Fe_3O_4 yang bersifat biokompatibel, menggantikan material berbasis Gd_2O_3 yang bersifat racun (Astuti dkk., 2022b; Blomqvist dkk., 2022; Kratz dkk., 2018). Namun, nanopartikel Fe_3O_4 mudah beraglomerasi, karena nanopartikel Fe_3O_4 mempunyai rasio permukaan terhadap volume yang besar dan energi permukaan yang juga besar, sehingga nanopartikel Fe_3O_4 cenderung menggumpal untuk mengurangi energi permukaan tersebut (Ali dkk., 2016; Maalej dkk., 2015). Selain itu, nanopartikel Fe_3O_4 sangat reaktif dan mudah teroksidasi, sehingga dapat menurunkan sifat magnet dan dispersibilitasnya. Untuk memecahkan masalah tersebut beragam strategi terus dikembangkan. Strategi tersebut meliputi doping terhadap Fe_3O_4 , melapisi permukaan nanopartikel magnetik dengan molekul organik meliputi surfaktan, polimer, dan biomolekul, atau pelapisan dengan material non organik seperti SiO_2 dan Au (Maalej dkk., 2015; Pellico dkk., 2019). Beberapa polimer seperti *dextran*, *albumin*, *polietilen glikol*, dan *polivinil pirolidon*, telah digunakan sebagai material selubung terhadap Fe_3O_4 (Crețu dkk., 2021). Material pelapis yang lain adalah asam folat, kitosan , dan silica (Kurnia dkk., 2021).

Dalam aplikasi *bioimaging*, dibutuhkan material luminesensi yang mampu

menghasilkan emisi cahaya dalam sistem biologis. Jenis-jenis material luminisensi yang biasanya digunakan adalah dari golongan lantanida (Gupta dkk., 2016), semikonduktor logam, dan karbon/grafen (Gonzales dkk., 2019). Semikonduktor logam seperti ZnO adalah material luminisensi yang paling banyak diteliti, karena keunggulannya dibandingkan dengan material fluoresensi organik (Khaira dkk., 2022; Mmelesi dkk., 2024; Veronica dkk., 2022). Selain semikonduktor logam seperti ZnO, belakangan ini *carbon quantum dot* (CQD) telah menarik perhatian besar dari ilmuwan interdisiplin karena ukurannya yang kecil, kelarutan air yang sangat baik, fluoresensi yang kuat, fotostabilitas tinggi dan non-toksitas dan sifat biokompatibilitas yang sangat baik. Sifat-sifat unggul ini menjadikan CQD sebagai alternatif yang menjanjikan dalam aplikasi *bioimaging* berbasis logam magnetik (Das dkk., 2023; Mmelesi dkk., 2024; Molaei, 2019; Yadav dkk., 2023). Salah satu bahan yang potensial adalah kayu secang (*Caesalpinia sappan*) yang mengandung senyawa fenolik dan flavonoid sebagai prekursor karbon yang baik. Pemanfaatan bahan alami ini memberikan keunggulan dari segi keberlanjutan, efisiensi biaya, dan kompatibilitas lingkungan.

Penggabungan material magnetik dengan material luminisensi menghasilkan material baru yang dapat digunakan sebagai material *bioimaging* dalam diagnosis maupun terapi penyakit (Astuti dkk., 2023a, 2023b, 2022a). Pada penelitian ini akan dikembangkan material nanokomposit magnetik luminisensi $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$, material ini adalah material yang biokompatibel, toksisitas rendah, namun cenderung mengendap di dalam air karena sifat dari Fe_3O_4 yang mudah beraglomerasi. Oleh sebab itu, untuk meningkatkan dispersibilitasnya perlu dilakukan modifikasi permukaan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ dengan suatu polimer yang dapat mencegah terjadinya aglomerasi partikel namun tidak merusak sifat luminisensinya (Astuti dkk., 2024). Salah satu jenis polimer biodegradabel yang dapat digunakan adalah polilaktat.

Pelapisan dengan polilaktat dilakukan dibagian terluar nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ yang dapat meningkatkan dispersibilitasnya di dalam air, sehingga dapat diaplikasikan sebagai material *bioimaging* (Osaci dan Cacciola, 2020; Zhao

dkk., 2020). Selain bersifat *biodegradable*, polilaktat juga memiliki ketahanan terhadap degradasi enzimatik dalam waktu yang cukup lama. Selain itu, polilaktat memiliki stabilitas termal yang baik, melindungi partikel magnetit dari suhu tinggi selama proses pelapisan dan aplikasi. Sifat hidrofobiknya juga membantu melindungi partikel magnetit dari aglomerasi atau interaksi yang tidak diinginkan dengan cairan biologis. Sifat optik polilaktat yang baik tidak mengganggu sinyal magnetit, memastikan kejelasan gambar yang dihasilkan pada proses *bioimaging*.

Pada penelitian ini akan disintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ berlapis polilaktat, dengan struktur *core-shell*. Nanopartikel magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ disintesis dengan metode kopresipitasi. Sedangkan CQD disintesis dengan metode hidrotermal. Pelapisan $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ dengan polilaktat dilakukan dengan sonikasi. Diharapkan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ berlapis polilaktat mempunyai saturasi magnetik yang tinggi, stabilitas luminisensi dan dispersibilitas yang tinggi sehingga dapat diaplikasikan sebagai material *bioimaging*.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah menguji efektivitas polilaktat sebagai pendispersi dengan menggunakan zeta potensial.

1.3 Manfaat Penelitian

Penggabungan kemampuan magnetik Fe_3O_4 dan luminisensi dari CQD serta biokompatibel dari polilaktat (PLA) dalam satu material, dapat berpotensi sebagai material *bioimaging* yang dapat digunakan untuk diagnosis maupun terapi penyakit. Selain itu, metode sintesis yang efisien dapat menghasilkan material dengan stabilitas tinggi dan performa optimal.

1.4 Ruang Lingkup

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Magnetit Fe_3O_4 disintesis dengan metode kopresipitasi.
2. Carbon Quantum Dots (CQD) disintesis dengan metode hidrotermal.
3. Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ dilapisi polilaktat (PLA) pada metode 1 dan metode 2 disintesis dengan metode sonikasi

4. Pelapisan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ dengan berbagai variasi polilaktat yaitu 0,5%, 2%, 5%, 7% ,dan 10% untuk metode 1, serta 0,2% dan 0,5% untuk metode 2

1.5 Hipotesis

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa sintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{CQD}$ yang dilapisi polilaktat akan menghasilkan material fluoresensi yang stabil dan menunjukkan biokompatibilitas yang tinggi, sehingga berpotensi untuk diterapkan dalam aplikasi bioimaging. Dengan dilapisi polilaktat, dihipotesiskan bahwa material ini akan meningkatkan biodegradabilitas, dispersibilitas dan tahan terhadap degradasi enzimatik.

