

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Penelitian tentang material *bioimaging* pada dekade terakhir lebih difokuskan pada material komposit berbasis  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetit) yang bersifat biokompatibel untuk menggantikan material berbasis  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  (gadolinium (III) oksida) yang bersifat racun karena dapat mengendap di dalam ginjal (Wu *et al.*, 2015). Selain sifat magnetik, sifat luminesensi yang terkait dengan efek ukuran kuantum, juga tidak kalah penting dalam mengembangkan material magnetik luminesensi dalam aplikasi *bioimaging* maupun material pencitraan lainnya. Jenis-jenis material luminesensi yang pernah digunakan adalah dari golongan lantanida (Gupta *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2020), karbon/grafen (Liu *et al.*, 2016; Gonzalez *et al.*, 2019; Perelshtein *et al.*, 2020), dan logam semikonduktor *quantum dot* (Madhubala and Kalaivani, 2017; Gupta *et al.*, 2021). Semikonduktor *quantum dot* adalah nanomaterial luminesensi yang paling banyak diteliti. Salah satu material semikonduktor *quantum dot* yang sering digunakan adalah seng oksida (ZnO), karena sifat optiknya yang unik dan dapat dimodifikasi.

Penggabungan material magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan material luminesensi ZnO telah menghasilkan material baru yang mempunyai sifat magnetik dan luminesensi sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Banyak peneliti telah memodifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan bahan lain seperti oksida grafena, kitosan, dan silika untuk meningkatkan kinerja bahan tersebut dalam berbagai aplikasi seperti fotodegradasi polutan organik (Abbasi *et al.*, 2020), antibakteri (Thanh *et al.*, 2020), penghantaran obat (Qiu *et al.*, 2014), degradasi fotokatalitik (Safari *et al.*, 2014) dan lain-lain. Beberapa peneliti juga telah melaporkan modifikasi permukaan nanopartikel magnetik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan material luminesensi ZnO dalam aplikasi biomedis (Stachowska *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2012; Parelsthein *et al.*, 2020; Kandasamy and Maity., 2015; Gupta *et al.*, 2021; Reaz *et al.*, 2020). ZnO diakui

sebagai bahan yang tidak beracun karena tidak ada bukti karsinogenisitas, genotoksisitas, dan reproduksi toksisitas pada manusia (Nguyen *et al.*, 2019).

Selain ZnO, belakangan ini nanokarbon telah menarik perhatian besar dari ilmuwan interdisiplin karena ukurannya yang kecil, kelarutan dalam air yang sangat baik, fluoresensi yang kuat, fotostabilitas tinggi, non-toksitas dan biokompatibilitas yang sangat baik. Sifat-sifat unggul ini menjadikan nanokarbon sebagai alternatif yang menjanjikan dalam aplikasi *bioimaging* berbasis logam magnetik (Panagiotis *et al.*, 2020; Alaghmandfard *et al.*, 2020; Perelshtein *et al.*, 2020). *Carbon quantum dot* (CQD) merupakan alotrop karbon dengan ukuran *dot* kecil dari 10 nm dan menunjukkan fotoluminesensi ketika diiradiasi menggunakan sinar UV. CQD menguntungkan karena biokompatibilitas, fotostabilitas, kelarutan air yang tinggi, non-toksitas, mudah disintesis, dan dapat disintesis dari bahan-bahan alami, seperti daun krokot (Amer *et al.*, 2021), daun mimba (Yadav *et al.*, 2019), kulit lemon (Tyagi *et al.*, 2016), ekstrak lemon dan jeruk limau gedang (Fini *et al.*, 2018), serta bahan organik lainnya.

Pelapisan nanopartikel magnetik dengan bahan organik atau anorganik dapat meningkatkan stabilitas, dispersi, dan fungsionalitasnya, tetapi pasti mengurangi kerentanan (suseptibilitas) magnetik dari seluruh struktur nano. Berdasarkan alasan ini, ikatan yang kuat (seperti ikatan kovalen antarmuka berbasis ZnO) lebih berpotensi untuk dikembangkan, terutama untuk partikel nano yang tersuspensi dalam cairan biologis, seperti yang ditunjukkan oleh nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO *core-shell* (Manikandan *et al.*, 2020; Gupta *et al.*, 2021). Jenis nanokomposit berbasis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ini lebih stabil dan aman untuk kontak dengan manusia dibandingkan dengan nanopartikel magnetik lainnya. Selain itu, permukaan ZnO kaya akan gugus -OH, yang dapat dengan mudah difungsionalisasikan dengan rekayasa permukaan menggunakan berbagai molekul.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah ada, dapat disimpulkan bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO merupakan material yang ramah lingkungan, biokompatibel dan sifat-sifat fisisnya dapat direkayasa untuk aplikasi tertentu. Meskipun material ini memiliki potensi untuk dikembangkan di bidang biomedis, khususnya sebagai material

*bioimaging*, namun hanya sedikit penelitian yang mengembangkan material tersebut. Hal ini disebabkan oleh adanya kelemahan dari nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ , yaitu penurunan intensitas luminesensi yang dipancarkan oleh ZnO. Penurunan intensitas luminesensi tersebut disebabkan oleh efek *quenching* yang disebabkan oleh ion Fe, ikatan yang menjuntai (*dangling bond*), dan cacat pada permukaan ZnO (Gupta *et al.*, 2021).

Oleh karena itu, perlu dilakukan modifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan material lain untuk memperoleh sifat fotoluminesensi yang tinggi, dengan saturasi magnetik yang baik sehingga dapat diaplikasikan sebagai material *bioimaging* atau aplikasi pencitraan lainnya. Sifat fotoluminesensi ZnO dapat ditingkatkan dengan rekayasa permukaan dengan molekul atau atom lain. Beberapa peneliti menggunakan doping ion tanah jarang untuk meningkatkan fotoluminesensi ZnO (Krishna *et al.*, 2007), namun doping dengan tanah jarang tidak cocok dalam aplikasi biomedis karena dapat menjadi racun bagi manusia. Untuk mencapai tujuan mendapatkan bahan *bioimaging* yang biokompatibel, para peneliti juga telah memodifikasi ZnO dengan berbagai alotrop karbon untuk mendapatkan struktur hibridisasi ZnO, sehingga intensitas fotoluminesensi dapat ditingkatkan seperti ZnO/grafena (Son *et al.*, 2012; Kwon *et al.*, 2014), dan ZnO/karboksilat (Schejn *et al.*, 2014; Jian *et al.*, 2015).

Dalam disertasi ini dilaporkan penggabungan/kopling nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan karbon *nanorod* untuk meningkatkan sifat fotoluminesensinya dan sifat magnetik yang dapat dikontrol. Penelitian ini mengidentifikasi sejauh mana pengaruh karbon *nanorod* terhadap sifat fotoluminesensi dan sifat magnetik pada material nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-C nanorod}$ . Variasi jumlah karbon *nanorod* berdampak pada perubahan intensitas fotoluminesensi dan saturasi magnetik. Penambahan sejumlah karbon terbukti meningkatkan intensitas fotoluminesensi pada daerah cahaya tampak. Karbon *nanorod* sebanyak 0,05 g telah meningkatkan intensitas fotoluminesensi lebih dari tiga kali lipat dibandingkan tanpa karbon *nanorod*. Hal ini membuktikan bahwa setelah hibridisasi dengan karbon *nanorod*, nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-C nanorod}$  memiliki sifat magnetik dan fotoluminesensi yang baik sehingga cocok untuk dikembangkan sebagai bahan *bioimaging* dan

fototerapi.

Selain itu, disertasi ini juga memodifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan CQD. Sejauh ini belum ditemukan penelitian dengan modifikasi nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan jenis material luminesensi CQD sebagai material *bioimaging*. Rekayasa permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan CQD ini dilakukan untuk meningkatkan intensitas dan stabilitas luminesensi nanokomposit tersebut. Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  disintesis dengan metode kopresipitasi. Sedangkan CQD disintesis dengan metode hidrotermal. Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -CQD mempunyai saturasi magnetik dan stabilitas luminesensi yang tinggi. Satu hal yang membedakan nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -CQD dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -C *nanorod* terletak pada daerah emisi UV yang tinggi dan melebar sampai emisi hijau ( $\lambda=500$  nm). Sedangkan emisi cahaya tampak menurun dan melebar sampai pada daerah *infra-red*. Dengan demikian, modifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan CQD dapat dikembangkan lebih jauh, sehingga dapat diaplikasikan pada material *bioimaging* dengan emisi daerah *infra-red*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan teori yang ada dan penelusuran literatur, terbukti bahwa karakteristik fotoluminesensi ZnO dapat dimodifikasi. Walaupun belum ada penelitian yang memodifikasi karakteristik fotoluminesensi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  daerah UV maupun cahaya tampak, namun dapat diperkirakan dengan memvariasikan jumlah karbon *nanorod* maupun CQD, puncak fotoluminesensi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dapat digeser ke daerah panjang gelombang pendek maupun panjang, serta meningkatkan intensitas fotoluminesensinya. Perlakuan ini mencegah terjadinya transisi non radiatif pada ZnO sehingga meningkatkan intensitas dan kestabilan luminesensi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -C *nanorod* dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -CQD. Selain itu saturasi magnetik tetap harus dijaga untuk meningkatkan kontras pada material *bioimaging*. Bagaimana pengaruh jumlah karbon *nanorod* dan CQD terhadap intensitas dan kestabilan fotoluminesensi serta saturasi magnetik nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dikaji lebih lanjut.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah dirumuskan, maka penelitian ini ditujukan sebagai berikut:

- a. Mensintesis nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan metode kopresipitasi, dan mensintesis CQD dengan metode hidrotermal.
- b. Kopling nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan karbon *nanorod* dan CQD dengan metode sonikasi.
- c. Mengkarakterisasi sampel hasil sintesis dengan menggunakan peralatan *X-Ray Diffractometer (XRD)*, *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Transmission Electron Microscope (TEM)*, *Particle Size Analyzer (PSA)*, *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* dan *Photoluminescence (PL)*.
- d. Menganalisis pengaruh jumlah karbon *nanorod* dan CQD terhadap karakteristik fotoluminesensi, saturasi magnetik, dan struktur nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ .
- e. Menganalisis dan membandingkan karakteristik fotoluminesensi antara nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-C nanorod}$  dengan nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-CQD}$ , sebagai material *bioimaging*.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mempelajari proses sintesis material nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-C nanorod}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-CQD}$ .
2. Dihasilkan suatu material baru yang dapat memberi manfaat terhadap keilmuan terutama mempelajari pengaruh komposisi karbon *nanorod* dan CQD terhadap struktur, morfologi, saturasi magnetik dan karakteristik fotoluminesensi  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dalam aplikasi material *bioimaging*.
3. Diharapkan nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-C nanorod}$  dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO-CQD}$  dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai material *bioimaging* atau aplikasi

biomedis lainnya.

## 1.5 Kebaruan Penelitian

Beberapa kebaruan penelitian ini adalah:

- a. Kombinasi material magnetik dan material luminesensi membentuk material nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -C *nanorod* dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -CQD.
- b. Modifikasi permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  menggunakan karbon *nanorod* dan CQD untuk meningkatkan intensitas dan stabilitas fotoluminesensi nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ , dan dispersibilitasnya dalam air.
- c. Peningkatan fotoluminesensi nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -C *nanorod* dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$ -CQD dengan variasi komposisi dari karbon *nanorod* dan CQD.

