

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam nanomaterial, magnetik nanopartikel memiliki sifat magnetik khusus yaitu *superparamagnetism* dan *high susceptibility*, serta memiliki sifat fisik berupa biokompatibilitas dan stabilitas yang baik (Shabestari Khiabani dkk., 2017). Material magnetik oksida besi yaitu Fe_3O_4 telah menarik lebih banyak perhatian, dalam dua dekade terakhir penelitian tentang Fe_3O_4 -NPs telah mencapai kemajuan yang pesat karena sifat magnetik dan fisik yang dimilikinya (S. Liu dkk., 2020). Fe_3O_4 adalah bahan ferrimagnetik dengan *high saturation magnetization* dan *low coercivity* karena kation Fe^{3+} yang digabungkan secara antiferomagnetik di situs tetrahedral dan oktahedral struktur kristalnya. Pemilihan FeCl_3 sebagai sumber Fe^{3+} dan FeSO_4 sebagai sumber Fe^{2+} dalam penelitian ini didasarkan pada kestabilan ionik dan interaksi anion-kation dalam larutan. Ion Fe^{2+} mudah teroksidasi menjadi Fe^{3+} , dalam FeSO_4 anion sulfat (SO_4^{2-}) yang bermuatan -2 dapat menstabilkan Fe^{2+} melalui interaksi elektrostatis dan kompleksasi lemah yang menghambat oksidasi menjadi Fe^{3+} . Sehingga kestabilan perbandingan stoikiometri Fe^{2+} dengan Fe^{3+} dapat terjaga dengan baik yang ditunjang dengan kelarutan dan kestabilan larutan yang tinggi dari FeCl_3 . Dengan karakteristik magnetik tersebut, Fe_3O_4 -NPs memiliki potensi aplikasi yang luas khususnya untuk aplikasi biomedis (Nguyen dkk., 2021).

Potensi aplikasi dari Fe_3O_4 -NPs salah satunya adalah dalam *magnetic hyperthermia*, yaitu pendekatan terapeutik di mana panas diinduksi untuk membunuh tumor (Estelrich & Antònia Busquets, 2018). Sumber panas dihasilkan oleh Fe_3O_4 -NPs akibat terpapar medan magnet bolak-balik/*alternating magnetic field* (AMF) pada ~ 1 MHz. Panas tersebut terjadi akibat adanya relaksasi néel, relaksasi brownian, serta histeresis magnetik (Kandasamy & Maity, 2015). Ketika suhu lokal meningkat hingga $42\text{-}45^\circ\text{C}$, hal tersebut dapat merusak struktur protein sel kanker, dan menyebabkan apoptosis serta nekrosis pada sel kanker tanpa memengaruhi jaringan sehat karena sensitivitas sel kanker yang lebih tinggi daripada sel normal (Moradiya dkk., 2019). Keunggulan digunakannya Fe_3O_4 -NPs adalah karena

memiliki saturasi magnetisasi yang tinggi, biokompatibilitas, dan kemampuan modifikasi permukaan (Wu dkk., 2015).

Dengan berbagai keunggulan tersebut, banyak peneliti mengembangkan metode untuk mensintesis Fe₃O₄-NPs, seperti co-presipitasi (Nkurikiyimfura dkk., 2020), hidrotermal (Acharya & Mabood, 2021), pirolisis (Zheng dkk., 2021), sol-gel (Shi dkk., 2020), dll. Namun demikian, metode sintesis konvensional umumnya menggunakan bahan-bahan kimia berbahaya yang menghasilkan reaksi dan limbah sampingan yang berbahaya baik untuk manusia maupun lingkungan. Maka dari itu, salah satu pendekatan ramah lingkungan untuk sintesis nanopartikel ini adalah melalui *green synthesis* atau sintesis hijau (Huston dkk., 2021). *Green synthesis* merupakan pendekatan yang ramah lingkungan untuk menghasilkan senyawa baru dengan minim penggunaan bahan kimia berbahaya dan memanfaatkan bahan alam sebagai agen pereduksi dan penstabil (Jadoun dkk., 2021).

Jiananda dkk., (2023) telah melaporkan *green synthesis* Fe₃O₄ menggunakan ekstrak *Moringa oleifera* sebagai zat pereduksi dan penstabil. Selain itu ekstrak kasar kulit buah *Garcinia mangostana* juga telah digunakan sebagai penstabil alami, ekstrak tersebut dapat meningkatkan stabilitas koloid nanopartikel Fe₃O₄ (Yusefi dkk., 2021). Bahan alam lain seperti *black liquid* dari limbah penyulingan nilam berpotensi dapat digunakan dalam metode *green synthesis* karena kandungan senyawa flavonoid dan polifenol yang bertindak sebagai zat pereduksi dan penstabil selama sintesis nanopartikel (Aryani dkk., 2022). Dalam tanaman nilam, terdapat 73 profil konstituen non-volatil yaitu, 33 flavonoid, 21 asam organik, 9 fenilpropanoid, 4 seskuiterpen, 3 alkaloid, dan 3 jenis senyawa lainnya (Xie dkk., 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tahir dkk., hasil penentuan kadar fenolik pada ekstrak daun nilam yaitu 327,84 mg GAE/g ekstrak. Selain itu, penggunaan *black liquid* juga membantu mengurangi limbah industri penyulingan nilam sehingga mendukung prinsip ekonomi sirkular. Serta merupakan pendekatan baru dalam sintesis material magnetik berbasis Fe₃O₄.

Namun nanopartikel magnetit (Fe₃O₄-NPs) memiliki kecenderungan aglomerasi dan memiliki aktivitas kimia yang tinggi serta sangat rentan terhadap oksidasi, yang sering kali menyebabkan penurunan sifat magnetik. Oleh karena itu, meningkatkan stabilitas Fe₃O₄-NPs merupakan langkah penting dalam aplikasinya,

dan salah satu caranya adalah dengan memodifikasi permukaannya (S. Liu dkk., 2020). Salah satu bentuk modifikasi permukaan adalah dengan ditambahkan *Carbon dots* (CDs) (Stepanova dkk., 2022). CDs dipilih karena dapat mencegah aglomerasi dan meningkatkan stabilitas termal serta kimia nanopartikel, serta memiliki sifat *photoluminescence* yang relatif kuat (Georgakilas dkk., 2015). CDs dapat diperoleh dari berbagai material dengan kandungan karbon organik tinggi seperti bambu, batok kelapa, bawang putih, dll. Salah satu material potensial untuk sintesis CDs adalah arang aktif bambu karena kandungan karbonnya yang tinggi dan memiliki struktur berpori dengan luas permukaan yang sangat tinggi (Dhina dkk., 2023).

Carbon dots memiliki keunggulan yang luar biasa diantaranya toksisitas rendah, fluoresen tinggi, dan stabilitas kimia yang baik (Esmail., dkk 2024). Astuti dkk., (2023) telah melaporkan sifat-sifat nanokomposit magnetit-luminesen $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{ZnO}/\text{C}$, hasilnya menunjukkan keberadaan karbon mengubah energi foton menjadi energi panas. Sehingga material tersebut selain sebagai material bioimaging juga dapat dikembangkan sebagai material terapi fototermal. Dalam aplikasi biomedis *hyperthermia* efek pembunuhan sampel nanopartikel Fe_3O_4 yang disintesis menggunakan ekstrak kasar kulit buah *Garcinia mangostana* terhadap sel kanker lebih tinggi dibandingkan dengan sel normal (Yusefi dkk., 2021).

Namun *green synthesis* dengan memanfaatkan limbah cair nilam sebagai agen serupa masih terbatas, dan peran arang aktif bambu sebagai prekursor untuk carbon dots juga perlu diteliti lebih lanjut. Sehingga penelitian terkait diperlukan untuk mengeksplorasi potensi nanokomposit dengan menggunakan metode *green synthesis* untuk aplikasi biomedis. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada keberhasilan sintesis nanopartikel komposit magnetit ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-NPs}$)/CDs dengan metode *green synthesis* menggunakan *black liquid* limbah cair penyulingan nilam dan arang aktif bambu. Sifat optik, mikrostruktur, dan magnetik dari nanokomposit ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-NPs}$)/CDs juga dipelajari untuk mendapatkan studi yang lebih komprehensif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan tersebut, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagimanakah karakteristik sifat optik, magnetik, morfologi dan struktur nanopartikel komposit magnetit (Fe_3O_4 -NPs)/CDs hasil sintesis menggunakan ferrosulfat dan ferriklorida serta *black liquid* limbah penyulingan nilam dan arang aktif bambu?
2. Bagaimana pengaruh komposisi *carbon dots* (CDs) dari arang aktif bambu terhadap kualitas dan karakteristik nanokomposit magnetit (Fe_3O_4 -NPs)/CDs?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik sifat optik, magnetik, morfologi dan struktur nanopartikel komposit magnetit (Fe_3O_4 -NPs)/CDs hasil sintesis menggunakan ferrosulfat dan ferriklorida serta *black liquid* limbah penyulingan nilam dan arang aktif bambu.
2. Mengkaji pengaruh komposisi *carbon dots* (CDs) dari arang aktif bambu terhadap kualitas dan karakteristik nanokomposit (Fe_3O_4 -NPs)/CDs.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diperoleh melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Manfaat Teoritis

Penelitian ini dapat memperluas pemahaman dalam pengembangan ilmu pengetahuan tentang *green synthesis* yang ramah lingkungan untuk pembuatan nanomaterial Fe_3O_4 . Selain itu diharapkan melalui penelitian ini dapat menambah wawasan dalam nanoteknologi, interaksi material alam dan nanopartikel, serta aplikasi biomedis dalam potensinya sebagai *magnetic hyperthermia*.

b. Manfaat Praktis

Manfaat yang diperoleh melalui penelitian ini adalah sintesis nanokomposit yang ramah lingkungan, pemanfaatan limbah industri, dan aplikasi dalam material teknologi lain. Selain itu pengembangan nanokomposit (Fe_3O_4 -NPs)/CDs untuk aplikasi *magnetic hyperthermia* berpotensi memberikan solusi praktis dalam terapi kanker yang lebih efektif, minim efek samping, dan tidak terlalu invasif dibandingkan dengan metode pengobatan konvensional.