

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pesatnya industrialisasi, pertumbuhan populasi, serta aktivitas antropogenik yang terus meningkat mengakibatkan akumulasi polutan organik di perairan, salah satunya dari industri kosmetik. Limbah cair produksi kosmetik mengandung senyawa organik kompleks dengan nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) lebih dari 100.000 mg/L, jauh melampaui batas toleransi ekosistem perairan (Lukman Abidemi dkk., 2018). Salah satu bahan aktif kosmetik yang berpotensi mencemari perairan adalah astaxanthin, pigmen ketokarotenoid berwarna oranye kemerahan dengan aktivitas antioksidan unggul (Elbahnaswy & Elshopakey, 2024). Berdasarkan Industry Research 2024, industri kosmetik menyumbang sekitar 18% konsumsi astaxanthin dengan lebih dari 400 merek *skincare*, di mana kawasan Asia-Pasifik dan Eropa mendominasi sekitar 68%. Tingginya produksi astaxanthin berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan perairan karena mengandung pigmen warna dan bahan kimia. Selain itu, stabilitasnya yang rendah dapat menurunkan kualitas produk sehingga menjadi limbah yang jika tidak terkelola dapat mencemari lingkungan perairan (Zhang dkk., 2023).

Berbagai metode degradasi limbah untuk remediasi lingkungan telah dilaporkan, meliputi presipitasi, koagulasi, pertukaran ion, dan adsorpsi. Namun, metode tersebut masih memiliki keterbatasan dalam hal efisiensi, waktu, biaya, dan pemeliharaan peralatan (Mahardhika dkk., 2024). Hal ini mendorong pengembangan teknologi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan, salah satunya adalah fotokatalisis. Metode fotokatalisis bekerja dengan memanfaatkan energi cahaya untuk mengaktifkan material katalis sehingga menghasilkan radikal aktif yang mampu mendegradasi senyawa organik kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana, seperti CO₂ dan H₂O (Chakravorty & Roy, 2024; Saravanan dkk., 2022).

Fe_3O_4 merupakan material magnetik yang ekonomis dan ramah lingkungan, menjadikannya potensial sebagai katalis heterogen. Sifat magnetiknya memudahkan pemisahan katalis dari medium reaksi menggunakan medan magnet eksternal, sehingga memungkinkan pemanfaatan katalis secara berulang. Ketika disinari cahaya, elektron pada Fe_3O_4 akan tereksitasi dan menghasilkan radikal aktif yang berperan dalam mendegradasi polutan organik (Mahardhika dkk., 2024). Meskipun demikian, aplikasinya masih terkendala oleh rendahnya efisiensi siklus $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ serta dekomposisi dan pemanfaatan oksidator yang berdampak pada penurunan kinerja katalis secara keseluruhan. Pengompositannya dengan material lain menjadi sangat penting untuk meningkatkan stabilitas dan fungsionalitasnya, baik dengan material organik seperti surfaktan, polimer, dan biomolekul, maupun anorganik seperti silika, karbon, logam, oksida logam, dan sulfida (Wang & Chu, 2025).

Reduced graphene oxide (rGO) merupakan material karbon dua dimensi turunan dari *graphene oxide* (GO) yang diperoleh melalui proses reduksi untuk menghilangkan sebagian gugus oksigen, sehingga memiliki konduktivitas listrik tinggi, stabilitas kimia yang baik, dan luas permukaan besar yang berperan dalam meningkatkan jumlah situs aktif serta memperbaiki transfer elektron selama reaksi fotokatalisis (Monir dkk., 2026). Pengompositannya dengan Fe_3O_4 menghasilkan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang menggabungkan sifat magnetik Fe_3O_4 dengan keunggulan konduktivitas dan stabilitas kimia rGO. Kombinasi ini tidak hanya memperluas rentang absorpsi cahaya, tetapi juga memudahkan pemisahan katalis dari larutan (Tumbelaka dkk., 2022). Oleh karena itu, penggunaan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ menjadi pendekatan yang relatif baru dan menjanjikan untuk degradasi fotokatalisis yang efektif (Bera dkk., 2026).

Pengembangan metode sintesis berkelanjutan dan ramah lingkungan seperti *green synthesis* menjadi inovasi menjanjikan dalam pembuatan material katalis. *Green synthesis* merupakan sintesis nanopartikel yang memanfaatkan sumber biologis, seperti tumbuhan, bakteri, jamur, dan alga, karena mengandung berbagai senyawa fitokimia yang berperan sebagai agen pereduksi, penstabil, dan pelapis

(Mostafazade dkk., 2026). Termasuk jenis tumbuhan yang potensial untuk *green synthesis* adalah ketapang (*Terminalia catappa* L.). Daun pada ketapang kaya akan berbagai senyawa yang mampu mendorong reduksi ion logam menjadi partikel nano sekaligus mencegah aglomerasi. Penelitian Ramanan S dkk. (2025), menggunakan ekstrak daun ketapang untuk sintesis nanopartikel emas dan nanopartikel ferit nikel (NiFe_2O_4) sebagai biosorben untuk menghilangkan dikloksasilin dari limbah air farmasi, serta mengurangi kekeruhan, seperti zat warna dan logam jejak dari larutan air lingkungan.

Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ sebagai fotokatalis. Penelitian Liang dkk. (2025) melaporkan degradasi metilen biru sebesar 80,6% menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ berbasis ekstrak bunga *Plumeria alba*. Potbhare dkk. (2026) mensintesis nanokomposit Fe_3O_4 QDs-rGO berbasis ekstrak daun *Thuja occidentalis* menunjukkan aktivitas fotokatalitik terhadap kontaminan farmasi seperti ciprofloxacin, ibuprofen, dan tetrasiklin dengan efisiensi hingga 94,5%. Padhi dkk. (2017) melaporkan sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ menggunakan ekstrak *Averrhoa carambola* untuk degradasi fenol dengan efisiensi 76%. Hasil penelitian tersebut secara konsisten menunjukkan bahwa pendekatan *green synthesis* pada nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ mampu menghasilkan fotokatalis dengan performa tinggi terhadap beragam polutan organik. Namun demikian, pemanfaatan ekstrak daun ketapang dalam sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ serta aplikasinya untuk degradasi limbah astaxanthin dari limbah industri kosmetik belum pernah dilaporkan, sehingga membuka celah ilmiah yang menjadi dasar penelitian ini.

Mengingat belum adanya penelitian yang mengintegrasikan aspek tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan *green synthesis* nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ berbasis ekstrak daun ketapang dan aplikasinya untuk degradasi limbah astaxanthin sebagai model polutan organik dari industri kosmetik. Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis, kemudian dievaluasi kinerjanya sebagai fotokatalis dalam mendegradasi limbah astaxanthin. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi fotokatalisis yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
2. Melakukan karakterisasi untuk mengetahui struktur, morfologi, dan sifat optik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang dihasilkan dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
3. Menganalisis efektivitas nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang dihasilkan dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang dalam mendegradasi limbah astaxanthin.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
2. Memberikan informasi mengenai struktur, morfologi dan sifat optik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang diperoleh dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
3. Mengetahui potensi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ yang disintesis dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang dalam mendegradasi limbah astaxanthin.