

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri kosmetik dalam skala nasional mengalami pertumbuhan yang pesat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kesehatan kulit dan perawatan diri yang diperkirakan mencapai sekitar 4%-5% per tahun (Fathin dkk., 2026). Bersamaan dengan peningkatan tersebut, volume limbah cair yang dihasilkan juga berpotensi mengalami peningkatan, terutama dari tahap produksi dan pencucian (Gecim dkk., 2021).

Salah satu senyawa yang banyak dimanfaatkan dalam industri kosmetik adalah astaxanthin, yaitu karotenoid teroksigenasi dengan aktivitas antioksidan yang sangat tinggi, mencapai 10 kali lipat dibandingkan dengan karotenoid lainnya (Rizaldy dkk., 2025). Senyawa ini mampu menyerap energi UV dan menghambat terbentuknya radikal bebas, sehingga dapat digunakan dalam produk tabir surya (*sunscreen*) (Nuraini & Widyanti, 2024). Selain itu, pigmen alami berwarna merah-jingga yang terkandung dalam astaxanthin dimanfaatkan dalam produk kosmetik dekoratif, seperti perona pipi atau *blush on* (Nurdianti dkk., 2021). Astaxanthin diproduksi secara alami oleh organisme akuatik seperti mikroalga, fitoplankton, krustasea dan ragi, serta mempunyai struktur kimia khas dengan gugus hidroksil ($\bullet\text{OH}$) dan gugus oksigen (Rizaldy dkk., 2025).

Limbah cair industri kosmetik diketahui mengandung *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang sangat tinggi, mencapai lebih dari 100.000 mg/L (Abidemi dkk., 2018). Meskipun astaxanthin tidak bersifat toksik dan memiliki nilai guna yang tinggi, astaxanthin dapat menjadi bagian dari limbah cair industri kosmetik ketika residu senyawa tersebut terbuang selama proses formulasi, pencucian peralatan, maupun tahap produksi lainnya. Dalam kondisi tersebut, astaxanthin tidak lagi berfungsi sebagai bahan baku produk, melainkan menjadi komponen penyusun limbah yang berkontribusi terhadap kandungan bahan organik dan warna pada air buangan. Limbah tersebut berpotensi meningkatkan nilai COD serta

mempengaruhi kualitas visual perairan. (Bauer & MinceVa, 2021). Selain itu, sifatnya sebagai pigmen berwarna kuat serta struktur rantainya yang kompleks dapat menurunkan estetika perairan serta menghambat penetrasi cahaya matahari ke dalam air, sehingga mengganggu proses fotosintesis serta menurunkan kemampuan asimilasi karbon dioksida oleh organisme akuatik dan tumbuhan air (Jędrzejczak & Wojciechowski, 2022). Oleh karena itu, pengolahan limbah yang mengandung astaxanthin tetap diperlukan bukan karena sifat toksisitasnya, melainkan untuk mengurangi beban organik, memperbaiki kualitas visual perairan, serta meminimalkan gangguan terhadap proses ekologis di lingkungan perairan. Dengan demikian, diperlukan pendekatan pengolahan limbah yang efektif dan ramah lingkungan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Salah satu pendekatan yang cukup menjanjikan adalah fotokatalisis karena mampu mendegradasi polutan dengan memanfaatkan energi cahaya matahari (Li dkk., 2020). Metode fotokatalisis memiliki beberapa keunggulan, seperti ramah lingkungan, kemudahan penanganan dan pengoperasian serta biaya operasional yang relatif rendah (Kamalesh dkk., 2025). Salah satu strategi untuk meningkatkan efektivitas fotokatalisis adalah melalui sintesis nanopartikel menggunakan pendekatan *green synthesis* dengan memanfaatkan bahan alami seperti daun ketapang (*Terminalia catappa*) (Tumbelaka dkk., 2022). Daun ketapang mengandung senyawa fitokimia seperti flavonoid, saponin, alkaloid, dan fenolik yang dapat membantu proses reaksi oksidasi (Amelia & Maharani, 2024). Selain itu, daun ketapang juga berperan sebagai penstabil partikel dan bioreduktor dalam proses fotokatalitik (Siregar & Yanuar, 2021). Proses ini membantu mempercepat pemecahan senyawa berbahaya menjadi senyawa sederhana yang lebih aman.

Nanopartikel Fe_3O_4 menjadi salah satu jenis nanopartikel yang dapat dimanfaatkan sebagai absorben dalam proses pengelolaan dan pengolahan air limbah. Sifatnya yang biodegradabel dan memiliki toksisitas rendah menjadikan material magnetik Fe_3O_4 sebagai katalis heterogen yang mudah dipisahkan dari air menggunakan medan magnet eksternal (Mahardhika dkk., 2024). Selain Fe_3O_4 , TiO_2 merupakan material semikonduktor yang memiliki aktivitas fotokatalitik

tinggi dan berpotensi besar dalam pemurnian air. Namun, TiO_2 memiliki energi celah pita yang relatif besar sehingga hanya aktif pada sinar ultraviolet, serta sulit dipisahkan dari larutan karena ukurannya yang sangat kecil. Oleh karena itu, TiO_2 perlu dikompositkan dengan material magnetik seperti Fe_3O_4 untuk meningkatkan kemudahan pemisahan menggunakan magnet (Tumbelaka dkk., 2022).

Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan keberhasilan dalam sintesis dan aplikasi berbasis Fe_3O_4 dan TiO_2 melalui pendekatan *green synthesis* untuk aplikasi fotokatalisis. Kodarta dkk. (2024) berhasil mensintesis Fe_3O_4 dengan menggunakan ekstrak kulit nanas dan pasir besi dari Sungai Batanghari sebagai sumber Fe. Nanopartikel Fe_3O_4 yang dihasilkan memiliki sifat superparamagnetik (*soft magnet*) dan efisiensi adsorpsi Rhodamine B (RhB) mencapai 98,52%. Hal ini menegaskan potensi Fe_3O_4 dalam mengikat polutan sebagai tahap awal proses degradasi fotokatalisis (Kodarta dkk., 2024). Dalam penelitian lain, nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang disintesis menggunakan ekstrak daun kelor yang mampu mendegradasi pewarna metilen biru (MB) dengan efisiensi mencapai 99,9% dan dapat digunakan kembali hingga empat kali dengan tingkat degradasi lebih dari 70% (Tumbelaka dkk., 2022). Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih terbatas dalam mendegradasi polutan pewarna sintetis seperti RhB dan MB. Hingga saat ini, penelitian yang mengkaji nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ berbasis ekstrak daun ketapang untuk degradasi fotokatalitik astaxanthin masih sangat terbatas.

Sebagai upaya untuk mengatasi permasalahan limbah cair industri kosmetik yang mengandung residu senyawa organik karotenoid, penelitian ini mengembangkan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ berbasis ekstrak daun ketapang melalui metode *green synthesis*. Nanokomposit yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDX, dan UV-Vis, serta diaplikasikan dalam degradasi fotokatalitik astaxanthin sebagai model polutan organik berwarna. Penggunaan konsentrasi tinggi bertujuan untuk mensimulasikan kondisi limbah dengan beban pencemaran tinggi, sehingga kinerja material fotokatalis dalam mendegradasi senyawa organik dapat dievaluasi secara lebih optimal. Penelitian ini diharapkan

dapat berkontribusi dalam pengembangan metode pengolahan limbah cair yang lebih efektif, ramah lingkungan serta meningkatkan kualitas lingkungan perairan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
2. Melakukan karakterisasi untuk mengetahui morfologi dan sifat nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang dihasilkan dari metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
3. Menganalisis efektivitas nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang dihasilkan dari metode *green synthesis* untuk degradasi astaxanthin pada limbah industri kosmetik.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
2. Memberikan gambaran mengenai morfologi dan sifat optik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang.
3. Mengetahui potensi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang dihasilkan dengan metode *green synthesis* berbasis ekstrak daun ketapang dalam mendegradasi astaxanthin pada limbah industri kosmetik.