

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan perairan oleh zat pewarna sintetis merupakan permasalahan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan secara global, seiring dengan meningkatnya aktivitas industri seperti tekstil, plastik, kertas, dan kosmetik (Kharisma Subagyo, 2021). Salah satu zat pewarna yang paling banyak digunakan adalah *Rhodamin B*, yaitu zat pewarna kationik *berfluoresensi* yang dikenal karena warnanya yang cerah, stabilitas kimia tinggi, serta biaya produksinya yang relatif rendah. Namun demikian, *Rhodamin B* bersifat toksik, *karsinogenik*, dan sulit terdegradasi secara alami, sehingga keberadaannya dalam air limbah menimbulkan ancaman serius terhadap kesehatan manusia dan keseimbangan ekosistem perairan. Sifat kimia yang kompleks dan kestabilan struktur molekul *Rhodamin B* membuatnya sulit dihilangkan secara efektif menggunakan metode konvensional, seperti *koagulasi-flokulasi* atau proses biologis (Inyinbor *et al.*, 2016). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan alternatif yang lebih efisien, berkelanjutan, dan mudah diterapkan. Salah satu metode yang menjanjikan adalah adsorpsi, yang dinilai unggul dalam hal efisiensi, kesederhanaan, dan biaya operasional rendah,

Seiring dengan kebutuhan akan teknologi adsorpsi yang efektif, penting pula untuk mempertimbangkan ketersediaan bahan baku lokal yang berpotensi dikembangkan sebagai material adsorben. Di Indonesia, khususnya Provinsi Jambi, aktivitas perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar, salah satunya adalah tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jambi (2024), pada tahun 2023 luas area perkebunan sawit di Jambi mencapai hampir 1,2 juta hektar dengan produksi lebih dari 2,7 juta ton minyak kelapa sawit (CPO). Jumlah usaha pertanian perorangan yang mengusahakan kelapa sawit mencapai lebih dari 271 ribu unit, menjadikan sawit sebagai sumber pendapatan utama petani di Jambi (Badan Pusat Statistik Provinsi Jambi, 2024). Peningkatan produksi ini berbanding lurus terhadap jumlah limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) yang dihasilkan. Limbah ini kerap menjadi permasalahan lingkungan akibat penumpukan, pembakaran terbuka, serta degradasi tidak terkontrol yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca dan pencemaran tanah (Dewanti, 2018). Namun, dari sisi lain, TKKS menyimpan potensi besar sebagai bahan baku alternatif untuk produk bernilai tambah. Salah satu upaya pemanfaatan limbah TKKS yang selaras dengan prinsip ekonomi sirkular adalah konversinya menjadi biochar, yakni arang aktif yang dihasilkan melalui proses pirolisis. Pemanfaatan

ini tidak hanya dapat mengurangi volume limbah, tetapi juga mendukung strategi pengelolaan limbah berkelanjutan (Febriyanti *et al.*, 2019).

Biochar yang diperoleh melalui proses pirolisis TKKS memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sangat mendukung sebagai adsorben, seperti luas permukaan yang besar, porositas tinggi, serta keberadaan gugus fungsi aktif pada permukaannya. Karakteristik ini memungkinkan biochar untuk mengikat molekul organik berbahaya seperti *Rhodamin B* melalui mekanisme interaksi fisik dan kimia (Savitri *et al.*, 2022). Keberadaan gugus fungsi aktif seperti hidroksil, karboksilat, dan karbonil pada permukaannya. Karakteristik ini memungkinkan biochar berinteraksi dengan polutan organik maupun anorganik melalui mekanisme adsorpsi fisik (*van der Waals*, pori kapiler) dan kimia (ikatan ionik, hidrogen, serta π - π *interaction*) (Tan *et al.*, 2015). Berbeda dengan karbon aktif, biochar umumnya memiliki struktur yang lebih *amorf* dan porositas yang lebih rendah, namun tetap efektif dalam aplikasi lingkungan karena dapat dimodifikasi atau diaktivasi lebih lanjut untuk meningkatkan kinerjanya. Selain itu, biochar lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan dapat diproduksi dari limbah pertanian seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sehingga mendukung prinsip keberlanjutan dan ekonomi sirkular (Inyang *et al.*, 2016). Dengan demikian, pemanfaatan biochar dari TKKS tidak hanya menjadi solusi terhadap permasalahan limbah, tetapi juga sebagai pendekatan ramah lingkungan dalam remediasi air tercemar. Oleh karena itu, biochar dari TKKS menjadi kandidat kuat sebagai bahan dasar untuk pengembangan material adsorben canggih, terutama di daerah penghasil kelapa sawit seperti Jambi.

Namun, untuk meningkatkan efisiensi pemisahan dan penggunaan ulang biochar sebagai adsorben, diperlukan modifikasi lebih lanjut terhadap material tersebut. Salah satu strategi yang telah banyak diteliti adalah integrasi biochar dengan partikel magnetit, seperti Fe_3O_4 , guna membentuk nanokomposit biochar magnetit. Kombinasi ini memungkinkan proses pemisahan adsorben dari larutan limbah dilakukan secara cepat dan efisien menggunakan medan magnet eksternal, sehingga mengurangi biaya operasional dan potensi pencemaran sekunder. Selain kemampuannya sebagai pemisah magnetit, Fe_3O_4 juga diketahui memiliki kemampuan adsorptif terhadap berbagai kontaminan logam berat dan zat warna melalui interaksi permukaan dan muatan *elektrostatik*, sehingga berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi nanokomposit (Yao *et al.*, 2019). Dalam proses sintesis Fe_3O_4 , penambahan ekstrak kulit nanas sebagai *capping agent* berperan penting dalam mengontrol pertumbuhan dan kestabilan ukuran partikel magnetit. Senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak kulit nanas, seperti fenol dan

flavonoid, dapat membentuk lapisan pelindung di sekitar permukaan partikel, mencegah aglomerasi, dan meningkatkan stabilitas dispersi magnetit selama proses sintesis.

Untuk memperoleh nanokomposit dengan distribusi partikel yang merata dan keterikatan yang kuat antara biochar dan Fe_3O_4 , digunakan metode hidrotermal. Proses ini dilakukan dengan memanaskan campuran reaktan dalam autoklaf pada suhu dan tekanan tinggi, sehingga mempercepat reaksi dan memungkinkan terbentuknya struktur nanokomposit yang homogen. Metode hidrotermal dikenal mampu menghasilkan material dengan kristalinitas tinggi, ukuran partikel seragam, dan ikatan antar fase yang kuat. Dalam konteks sintesis biochar magnetik, pendekatan ini mendorong terjadinya pelapisan partikel Fe_3O_4 ke permukaan biochar secara efisien, sehingga meningkatkan stabilitas dan kapasitas adsorpsi dari material akhir. Dengan memanfaatkan potensi biochar TKKS sebagai matriks karbon, Fe_3O_4 sebagai penguat magnetik dan aktif secara kimia, ekstrak kulit nanas sebagai agen ramah lingkungan, serta metode hidrotermal sebagai pendekatan sintesis yang terkontrol dan efisien, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan material adsorben baru yang efektif, ekonomis, dan berkelanjutan untuk mengatasi pencemaran *Rhodamin B* di perairan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi massa biochar dari TKKS terhadap karakteristik fisikokimia dan efisiensi adsorpsi nanokomposit biochar magnetit dalam menghilangkan *Rhodamin B* dari larutan air. Penelitian ini penting untuk mengoptimalkan proses sintesis dan memaksimalkan potensi adsorben berbasis biomassa lokal dalam skala yang lebih luas. Dengan memahami hubungan antara massa biochar dan kinerja komposit, diharapkan dapat dikembangkan teknologi adsorpsi yang lebih adaptif dan efisien, terutama untuk daerah-daerah penghasil limbah biomassa seperti Jambi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang ramah lingkungan, tetapi juga memberikan solusi terhadap permasalahan limbah pertanian yang belum tertangani secara optimal. Integrasi antara pemanfaatan limbah TKKS dan teknologi nanokomposit magnetit merupakan langkah strategis dalam mewujudkan inovasi berbasis sumber daya lokal untuk menghadapi tantangan lingkungan global.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Pencemaran limbah tekstil, khususnya yang mengandung zat warna sintesis seperti *Rhodamin B*, telah menjadi masalah serius dalam pencemaran lingkungan perairan. Zat warna ini dikenal persisten, sulit terurai secara

alami, dan bersifat toksik bagi organisme akuatik. Pembuangan limbah pewarna ke sungai atau tanah tanpa pengolahan yang memadai dapat menyebabkan terganggunya ekosistem, merusak kualitas air, serta berdampak negatif terhadap kesehatan manusia. Salah satu pendekatan yang berkembang dalam mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggunakan material adsorben berbasis karbon yang dimodifikasi, seperti biochar magnetit. Biochar dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS), sebagai limbah pertanian yang melimpah di Provinsi Jambi, berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben karena memiliki struktur berpori dan stabil secara kimia.

Dengan memodifikasi biochar menggunakan Fe_3O_4 dalam bentuk serbuk, diperoleh biochar magnetit yang memiliki keunggulan dalam hal efisiensi adsorpsi dan kemudahan pemisahan menggunakan medan magnet. Kombinasi antara sifat karbon aktif dari biochar dan sifat magnetit dari Fe_3O_4 memungkinkan proses penyerapan *Rhodamin B* dari larutan lebih efektif dan ramah lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi massa biochar terhadap karakteristik nanokomposit biochar magnetit?
2. Bagaimana pengaruh variasi massa biochar terhadap efisiensi nanokomposit biochar magnetit sebagai penyerap *Rhodamin B*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut didapatkan tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh variasi massa biochar terhadap karakteristik nanokomposit biochar magnetit.
2. Menganalisis pengaruh variasi massa biochar terhadap efisiensi nanokomposit biochar magnetit sebagai penyerap *Rhodamin B*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penggunaan biochar yang dimodifikasi Fe_3O_4 sebagai penyerap *Rhodamin B* dapat menjadi solusi yang ramah lingkungan dalam membersihkan limbah industri, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan hidup.
2. Meningkatkan pemahaman tentang penggunaan biochar yang dimodifikasi Fe_3O_4 sebagai bahan adsorben untuk *Rhodamin B*, membuka potensi penggunaan material tersebut dalam berbagai aplikasi lain yang memerlukan penyerap bahan kimia.