

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran air akibat kandungan fosfat yang berlebih merupakan salah satu permasalahan lingkungan global yang semakin meningkat. Fosfat yang masuk ke badan air, baik dari limbah domestik maupun industri, dapat memicu eutrofikasi yang berdampak pada pertumbuhan alga secara berlebihan, penurunan kadar oksigen terlarut, serta kerusakan ekosistem perairan (Tiwari & Pal, 2022) (Wu, et al., 2022). Kondisi ini tidak hanya mengganggu keseimbangan lingkungan, tetapi juga berdampak pada kualitas air yang digunakan oleh manusia.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi pencemaran fosfat, seperti presipitasi kimia, filtrasi membran, dan adsorpsi (Abdoli, et al., 2024) (Cheng, et al., 2020) (Zahed, et al., 2022). Di antara metode tersebut, adsorpsi dinilai sebagai teknik yang efektif, sederhana, serta ekonomis dalam menghilangkan fosfat dari air (Satyam & Patra, 2024). Penggunaan material berbasis biomassa, seperti biochar dari limbah pertanian, menjadi alternatif yang menarik karena bersifat ramah lingkungan, murah, dan memiliki potensi sebagai adsorben (Mukarunyana, Sundberg, Boman, Kabera, & Fick, 2026). Limbah kulit kopi, yang jumlahnya melimpah di Indonesia, memiliki kandungan karbon yang tinggi sehingga berpotensi untuk dikembangkan menjadi biochar adsorben.

Namun demikian, biochar murni memiliki keterbatasan, terutama pada jumlah situs aktif dan selektivitas terhadap ion fosfat. Oleh karena itu, diperlukan modifikasi material untuk meningkatkan kinerjanya. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah modifikasi menggunakan logam seperti zirkonium (Zr) yang memiliki afinitas tinggi terhadap fosfat melalui mekanisme pembentukan kompleks (Almoussa, et al., 2026) (Mohan, et al., 2025). Selain itu, penggunaan matriks alginat dalam bentuk hidrogel beads dapat meningkatkan stabilitas mekanik serta mempermudah proses pemisahan adsorben dari larutan.

Dalam konteks teknik energi terbarukan, proses *slow pyrolysis* biomassa tidak sekadar berfungsi sebagai metode produksi biochar, melainkan merupakan bagian integral dari rantai konversi energi biomassa yang berkelanjutan. Selain menghasilkan biochar padat, *slow pyrolysis* juga menghasilkan co-produk berupa bio-oil dan gas pirolisis (syngas) yang memiliki nilai kalor dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut sebagai sumber energi terbarukan. Dengan demikian, pemanfaatan limbah kulit kopi melalui *slow pyrolysis* dalam penelitian ini secara langsung selaras dengan prinsip valorisasi biomassa berbasis energi terbarukan, yaitu mengoptimalkan seluruh fraksi produk termokimia untuk meminimalkan limbah sekaligus memaksimalkan manfaat energetik dan lingkungan dari sumber daya biomassa lokal.

Seiring dengan perkembangan teknologi, modifikasi permukaan menggunakan metode **low-pressure cold plasma (LPCP)** menjadi alternatif inovatif untuk meningkatkan sifat adsorben. Perlakuan plasma mampu meningkatkan jumlah gugus fungsi aktif tanpa merusak struktur utama material (Chen & Wirz, 2021) (Liu, et al., 2024) (Xu, Qi, Zhang, Deng, & Zhu, 2026). Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh plasma terhadap sistem komposit biochar–zirkonium–alginat dalam adsorpsi fosfat masih terbatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan antara kebutuhan akan adsorben yang efektif dan ramah lingkungan dengan keterbatasan material yang ada saat ini. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja adsorben berbasis biochar kulit kopi yang dimodifikasi zirkonium dan alginat serta dioptimasi menggunakan teknologi plasma sebagai solusi dalam penanganan pencemaran fosfat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi zirkonium dan alginat terhadap kinerja biochar sebagai adsorben fosfat?

2. Bagaimana pengaruh perlakuan plasma terhadap karakteristik dan kapasitas adsorpsi material?
3. Bagaimana mekanisme adsorpsi fosfat menggunakan material yang dikembangkan?
4. Bagaimana efektivitas dan stabilitas adsorben dalam proses penggunaan berulang?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan tidak meluas, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Analisis difokuskan pada parameter adsorpsi fosfat dalam larutan.
2. Material yang digunakan terbatas pada biochar kulit kopi, zirkonium, dan alginat.
3. Modifikasi yang dilakukan hanya menggunakan metode low-pressure cold plasma (LPCP).
4. Pengujian dilakukan dalam skala laboratorium.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Tujuan Umum
Mengembangkan adsorben berbasis biochar kulit kopi yang dimodifikasi zirkonium dan alginat serta dioptimasi dengan plasma untuk penghilangan fosfat dalam air.
2. Tujuan Khusus
 - a. Menganalisis karakteristik material sebelum dan sesudah modifikasi plasma.
 - b. Menentukan kapasitas adsorpsi fosfat dari material yang dikembangkan.
 - c. Mengkaji mekanisme adsorpsi.
 - d. Mengevaluasi stabilitas dan reusabilitas adsorben.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

Memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang teknologi pengolahan air dan material adsorben.

2. Manfaat Praktis

a. Menjadi alternatif solusi dalam pengolahan limbah yang mengandung fosfat.

b. Memanfaatkan limbah biomassa (kulit kopi) menjadi produk bernilai tambah.

3. Manfaat Akademis

Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan adsorben berbasis biomassa dan teknologi plasma.