

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Buah lerak (*Sapindus Rarak De Candole*) [1], juga dikenal sebagai *soapberry* [2], memiliki kandungan saponin yang tinggi dan banyak dimanfaatkan untuk produk pembersih. Buah lerak juga kaya akan kandungan fitokimia lain seperti alkaloid, fenolik, antioksidan, flavonoid, dan tanin [3]. Meskipun buah lerak terkenal sebagai bahan baku pembuatan sabun batik, khususnya di Indonesia, namun pemanfaatan buah lerak dalam bidang lainnya masih sulit ditemukan. Hal ini karena buah lerak termasuk dalam kategori buah *non-edible* dan budidayanya belum banyak dikembangkan. Ditinjau dari karakteristik pertumbuhannya, lerak mulai menghasilkan buah pada usia tiga hingga empat tahun, dan diperkirakan dapat dihasilkan 250 kg buah per hektar per tahun [4], dari hal ini dapat diperkirakan bahwa cukup banyak buah lerak yang masih dapat dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan buah lerak yang digunakan sebagai prekursor pembuatan material maju untuk memberikan nilai tambah pada buah lerak.

Kandungan fitokimia dalam buah lerak kaya akan senyawa organik mengandung gugus hidroksil, yang meliputi senyawa fenolik, saponin, tanin, flavonoid, dan lainnya [5]. Senyawa organik dengan gugus hidroksil ini berpotensi untuk menjadi ligan pengikat metal yang dapat dimanfaatkan untuk mensintesis *metal-phenolic network* (MPN). Pada dasarnya, MPN adalah polimer koordinasi amorf yang lebih fleksibel dan memiliki sifat merekat pada substrat [6]. Sintesis MPN dapat dengan mudah dilakukan dengan mereaksikan ligan dan ion metal pada suhu ruang dan pH yang sesuai, umumnya pH alkali [7], sehingga sintesis yang lebih mudah dan

interaksi yang beragam dengan komponen fungsional. Sementara itu, *Metal Organic Framework* (MOF) memiliki struktur kristalin yang lebih kaku dan memerlukan kondisi sintesis yang lebih ketat. MPN pada umumnya disintesis menggunakan senyawa organik seperti asam galat dan asam tanat dalam bentuk murninya [8], sehingga kurang ekonomis jika diterapkan dalam pembuatan adsorben untuk pengolahan limbah dalam mengatasi masalah tersebut, kemudian ekstrak lerak digunakan sebagai pensubstitusinya. Penggunaan ekstrak lerak sebagai ligan untuk sintesis MOF tidak dapat dilakukan karena ekstrak lerak mengandung berbagai macam fitokimia. Sementara itu, sintesis MOF memerlukan satu jenis komponen ligan yang spesifik dan bersifat hidrofobik, seperti asam tereftalat (*terephthalic acid*) [8].

Dalam penelitian ini, buah lerak dimanfaatkan sepenuhnya untuk mengembangkan adsorben hijau berkelanjutan, dengan menerapkan konsep “zero waste”. Buah lerak diekstraksi menggunakan solven untuk mendapatkan fitokimianya, yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai ligan untuk mengikat ion metal dan menghasilkan MPN. Residu buah lerak setelah ekstraksi dikompositkan dengan MPN melalui proses pelapisan secara kimiawi. Modifikasi residu dengan MPN memberikan tambahan gugus fungsional yang dapat memberikan peningkatan performa adsorpsi dibandingkan material-material prekursornya [9]. Sejauh yang diketahui, penelitian ini adalah yang pertama kalinya mendemonstrasikan pembuatan residu, MPN, dan komposisinya yang dihasilkan melalui pemanfaatan ekstrak dan residu buah lerak. Keberhasilan implementasi pendekatan ini dapat membuka jalan bagi pengembangan adsorben ramah lingkungan yang berkelanjutan.

Adsorben berbasis lerak dimanfaatkan dalam penelitian ini sebagai solusi pengolahan air limbah yang mengandung logam berat, khususnya

kromium (Cr), yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat karena sifatnya toksik [10-12]. Logam berat seperti Cr dapat terakumulasi secara biologis pada spesies perairan, sehingga menyebabkan pencemaran pada ekosistem laut dan air tawar di seluruh dunia. Cr sendiri banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti tekstil untuk proses pewarnaan, pelapisan logam guna meningkatkan ketahanan korosi, serta dalam produksi cat dan zat warna [13-15]. Limbah dari industri-industri tersebut umumnya mengandung Cr dalam konsentrasi tinggi yang dapat mencemari air dan tanah, menimbulkan risiko kesehatan dan lingkungan yang serius. Setelah dilepaskan ke lingkungan, Cr dapat hadir dalam dua bentuk oksidasi, yaitu Cr(III) dan Cr(VI), di mana Cr(VI) jauh lebih berbahaya karena bentuk ion kromatnya (CrO_4^{2-} dan HCrO_4^-) sangat larut dalam air [16-18]. Hal ini menyebabkan Cr(VI) memiliki toksisitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan Cr(III). Pemerintah Indonesia melalui PP No. 22 Tahun 2021 telah mengatur baku mutu Cr di perairan dengan batas maksimum 0,1 mg/L dan dalam limbah industri sebesar 0,05 mg/L untuk Cr(VI) [19]. Namun, realitanya, beberapa industri di Indonesia masih menghasilkan limbah dengan kandungan Cr(VI) yang jauh melebihi ambang batas tersebut, seperti pada industri baja yang mencapai 20,6 mg/L [20], industri *electroplating* hingga 47 mg/L [21], bahkan industri penyamakan kulit (*tannery*) mencapai 290 mg/L [22]. Kondisi ini menunjukkan perlunya upaya pengolahan limbah yang efektif, salah satunya dengan pemanfaatan adsorben alami seperti lerak untuk menurunkan kadar logam berat berbahaya sebelum limbah dibuang ke lingkungan.

Berbagai metode pengolahan air limbah telah dikembangkan, termasuk adsorpsi, koagulasi, dan filtrasi. Adsorpsi adalah metode yang efektif dan relatif murah untuk menghilangkan nutrisi berlebihan dari air

limbah [23]. Meskipun filtrasi sangat efektif, biayanya cenderung lebih tinggi dibandingkan metode lain [24]. Koagulasi dapat digunakan untuk mengendapkan partikel tersuspensi, tetapi kurang efektif dalam menghilangkan polutan terlarut secara menyeluruh [25]. Oleh karena itu, efektivitas adsorpsi Cr(VI) dengan memanfaatkan residu termodifikasi MPN dari buah lerak akan dievaluasi keefektifannya untuk menangani kandungan Cr(VI) berlebih dalam air.

I.2 Tujuan Penelitian

Penelitian bertujuan untuk mengembangkan adsorben berbasis bahan alam melalui pemanfaatan ekstrak dan residu buah lerak, yaitu dalam bentuk residu termodifikasi MPN. Tahapan penelitian dalam memenuhi tujuan tersebut meliputi:

1. Mensintesis dan mengkarakterisasi adsorben:
 - a. Adsorben dalam bentuk residu dihasilkan dari ekstraksi metanol 80% pada suhu ruang selama 24 jam.
 - b. Adsorben komposit residu-MPN disintesis pada variasi Fe : Ekstrak lerak 1:1 (w/w), 1:2 (w/w) pada pH 8 dan suhu ruang.
 - c. Parameter yang dievaluasi pada tahap ini meliputi (i) kandungan fitokimia ekstrak buah lerak, (ii) karakterisasi struktur komposit.
2. Mempelajari performa adsorpsi adsorben terhadap Cr(VI) dalam air, yaitu melalui:
 - a. Evaluasi pengaruh pH dengan variasi 2, 4, 6, 8, dan 10 terhadap proses adsorpsi.
 - b. Evaluasi pengaruh dosis adsorben dengan variasi 0,7, 1, 1,5, 2, 3, 4, dan 5 g/L terhadap proses adsorpsi.

- c. Uji kinetika adsorpsi dengan variasi waktu 0,5, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, dan 24 jam
- d. Uji isoterm adsorpsi dan menentukan parameter termodinamika dengan variasi konsentrasi 20, 50, 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1300, 1500 ppm dan variasi temperatur pada 30°C, 40°C, dan 50°C.

I.3 Pembatasan Masalah

- 1. Ekstrak buah lerak sebagai prekursor memiliki kandungan fitokimia beragam, yang masing-masing berpotensi sebagai senyawa organik yang berikatan dengan ion Fe^{3+} dalam pembentukan MPN.
- 2. Seluruh residu dimanfaatkan tanpa memisahkan pengotor.
- 3. Larutan sampel adsorpsi yang digunakan adalah larutan sampel yang dibuat, bukan limbah.
- 4. Keberhasilan pelapisan MPN pada residu buah lerak dievaluasi melalui analisa elemen pada permukaan material dengan menggunakan analisa SEM-EDX.
- 5. Pemodelan isoterm dan kinetika digunakan untuk menentukan apakah adsorpsi bersifat fisisorpsi atau *chemisorption*, serta untuk menilai sifat permukaan adsorben apakah homogen (monolayer) atau heterogen, berdasarkan kecocokan data dengan model Langmuir, Freundlich, *Pseudo First Order* (PFO), dan *Pseudo Second Order* (PSO).