

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, pencemaran air oleh pewarna sintetis telah menjadi masalah lingkungan yang serius. Berdasarkan literatur, limbah pewarna yang mencemari lingkungan sebagian besar berasal dari 5 sektor industri utama, yakni: industri tekstil (54%), industri pewarnaan (21%), industri kertas dan pulp (10%), industri penyamakan kulit dan cat (8%), serta industri manufaktur pewarna (7%)¹. Pewarna sintetis merupakan kelompok zat warna yang mampu membentuk ikatan kimia yang kuat dengan substrat, sehingga menghasilkan ketahanan luntur dan daya tahan pencucian yang sangat baik. Karakteristik tersebut menjadikan pewarna sintetis banyak dipilih dalam berbagai proses industri. Namun, sekitar 20% dari zat warna yang digunakan dalam proses industri tidak terikat pada substrat dan terbuang ke dalam aliran air limbah. Pembuangan zat warna tanpa pengolahan yang memadai menimbulkan risiko lingkungan yang serius akibat tingkat visibilitasnya yang tinggi, potensi toksisitas, serta sifatnya yang persisten di lingkungan perairan².

Methyl Orange (MO) merupakan zat warna azo anionik yang sering digunakan sebagai senyawa model dalam penelitian pengolahan limbah zat warna. Senyawa ini berbentuk serbuk merah jingga dan mudah larut dalam air. MO banyak dimanfaatkan sebagai indikator asam-basa di laboratorium, serta sebagai zat pewarna pada industri tekstil dan kulit³. MO mampu menunjukkan kondisi medium asam maupun basa melalui perubahan warna yang berbeda. Pada medium asam, MO memberikan warna merah, sedangkan pada medium basa menunjukkan warna kuning. Senyawa ini memiliki kemampuan yang lebih baik dalam membedakan antara asam kuat dan basa lemah dibandingkan *Phenolphthalein*. Gugus azo yang terdapat dalam struktur MO dapat mengalami degradasi secara anaerob melalui reaksi reduksi sehingga menghasilkan amina yang bersifat karsinogenik, yang diketahui dapat menimbulkan masalah serius bagi lingkungan, kesehatan manusia, dan sistem biologis. Selain itu, senyawa ini juga berpotensi menimbulkan efek teratogenik terhadap kesehatan manusia. Meskipun memiliki potensi bahaya, MO tetap banyak digunakan karena mampu menghasilkan perubahan warna yang jelas, bahkan pada konsentrasi yang rendah. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menyisihkan MO dari limbah cair sebelum dilepaskan ke lingkungan alami guna mengurangi potensi toksisitasnya⁴.

Pada tahun 2030, sekitar 47% populasi dunia akan menghadapi tantangan krisis air bersih. Pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna umumnya dilakukan melalui 3 pendekatan utama, yaitu fisik (meliputi pemisahan membran, adsorpsi, dan koagulasi), kimia (seperti oksidasi fotokatalitik, oksidasi kimia, dan proses elektrokimia), serta biologis (meliputi proses aerob, anaerob, maupun kombinasi keduanya). Meskipun efektif, metode pemisahan membran memiliki kekurangan berupa biaya operasional yang tinggi dan kecenderungan membran mengalami penyumbatan yang dapat menurunkan kinerjanya. Proses koagulasi menghasilkan limbah lumpur dalam jumlah besar dan kurang efektif untuk menghilangkan zat

warna yang bersifat hidrofilik. Metode kimia berpotensi menimbulkan pencemaran sekunder dan efektivitasnya masih terbatas. Selain itu, proses elektrokimia membutuhkan konsumsi energi yang tinggi. Metode biologis seperti pemanfaatan mikroorganisme dinilai ekonomis dan ramah lingkungan, namun kecepatan reproduksi mikroba dan laju reaksinya relatif lambat, serta sistem pengelolaannya cukup kompleks. Dibandingkan metode lain, adsorpsi menjadi pilihan yang lebih umum karena memiliki sejumlah keunggulan, antara lain proses operasional yang sederhana, selektivitas yang tinggi, konsumsi energi yang rendah, serta tidak menghasilkan produk samping berbahaya. Berbagai adsorben yang telah digunakan dalam lima tahun terakhir untuk adsorpsi MO dari larutan berair meliputi komposit, nanopartikel, polimer dan resin, tanah liat dan mineral, karbon aktif, biosorben, serta biochar⁵.

Adsorpsi zat warna dari air menggunakan biosorben dari limbah pertanian yang memiliki struktur longgar, berpori, serta mengandung gugus amina, karbonil, karboksil, dan hidroksil reaktif menjadi menarik karena memberikan keuntungan ganda. Keuntungan tersebut adalah mengurangi beban lingkungan sekaligus memanfaatkan limbah sebagai adsorben yang ekonomis dan dapat digunakan kembali berdasarkan prinsip kimia hijau untuk mendukung keberlanjutan. Sejalan dengan hal tersebut, berbagai laporan penelitian menunjukkan bahwa penyisihan MO dari air limbah melalui proses adsorpsi menggunakan limbah pertanian telah menarik perhatian luas di berbagai negara. Selanjutnya, berbagai adsorben seperti kulit pomelo⁶, cangkang telur⁷, daun jagung⁸, limbah kopi⁹, daun nangka¹⁰, dan limbah kayu¹¹ telah digunakan untuk menghilangkan MO dari limbah air. Adsorben-adsorben tersebut dilaporkan memiliki kinerja yang baik dalam proses adsorpsi MO dari air. Oleh karena itu, upaya untuk mengeksplorasi adsorben lain yang tersedia secara lokal dengan biaya rendah masih sangat diperlukan.

Tanaman alpukat (*Persea americana* Mill.) dapat tumbuh subur di daerah dengan iklim tropis seperti Indonesia. Menurut Badan Pusat Statistik (2023) produksi alpukat tahun 2022 mencapai 865,780 ton¹². Tingginya produksi dan konsumsi buah alpukat berpotensi menghasilkan limbah biji dalam jumlah besar. Biji alpukat merupakan limbah biomassa yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Padahal, secara kimia, biji alpukat kering tersusun atas karbohidrat sebesar 43-85%, terutama berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen lainnya meliputi protein sebesar 3-9%, lipid 2-4%, dan mineral sebesar 2-4%. Selain itu, biji ini secara alami memiliki kandungan senyawa fenolik yang relatif tinggi¹³. Komposisi kimia tersebut menunjukkan bahwa adsorben berbasis biji alpukat memiliki komposisi dan kelimpahan gugus fungsi aktif yang berpotensi memengaruhi karakteristik permukaan, sehingga dapat memengaruhi efektivitas dan kapasitas adsorpsinya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini biji alpukat dimanfaatkan sebagai biosorben untuk menyisihkan *Methyl Orange* dari larutan berair serta mengkaji potensinya sebagai adsorben alternatif berbasis biomassa yang tersedia secara lokal.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai pH_{pzc} biosorben biji alpukat dan bagaimana kondisi optimum adsorpsi *Methyl Orange* berdasarkan variasi pH, konsentrasi awal, waktu kontak, serta suhu pemanasan biosorben?
2. Bagaimana model isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi dalam menjelaskan mekanisme adsorpsi zat warna *Methyl Orange* oleh biosorben biji alpukat?
3. Bagaimana karakteristik biosorben biji alpukat berdasarkan gugus fungsi, morfologi permukaan, dan komposisi unsur sebelum dan sesudah adsorpsi, serta stabilitas termal sebelum adsorpsi?
4. Bagaimana kemampuan biosorben biji alpukat dalam mengadsorpsi *Methyl Orange* pada sampel limbah cair laboratorium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan pH_{pzc} biosorben biji alpukat serta kondisi optimum adsorpsi *Methyl Orange* berdasarkan variasi pH, konsentrasi awal, waktu kontak, dan suhu pemanasan biosorben
2. Menganalisis model isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi untuk menjelaskan mekanisme adsorpsi zat warna *Methyl Orange* oleh biosorben biji alpukat.
3. Menganalisis karakteristik biosorben biji alpukat berdasarkan gugus fungsi, komposisi unsur, dan morfologi permukaan sebelum dan sesudah adsorpsi, serta stabilitas termal sebelum adsorpsi menggunakan FTIR, XRF, SEM-EDX, dan TGA.
4. Mengaplikasikan kondisi optimum untuk adsorpsi zat warna *Methyl Orange* pada limbah laboratorium dengan biosorben biji alpukat.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan biosorben berbasis biomassa, khususnya biji alpukat (*Persea americana* Mill.), untuk penyisihan *Methyl Orange* dari larutan berair, serta menjadi alternatif pemanfaatan limbah pertanian lokal yang ekonomis, ramah lingkungan, dan berpotensi diterapkan dalam pengolahan limbah cair yang mengandung zat warna sintetis.