

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri menghasilkan sejumlah besar polutan limbah yang dapat berdampak buruk bagi lingkungan (Ukpong et al., 2023). Hal ini merupakan ancaman bagi manusia semua organisme karena kebutuhan air meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah populasi makhluk hidup (Shabaan et al., 2020). Produksi zat warna sintetik mencapai 1,6 juta metrik ton per tahun. Sekitar 20% dari total produksi, zat warna ini terdistribusi ke lingkungan karena pengolahan limbah yang buruk (Solih et al., 2023). Zat warna dapat merusak ekosistem perairan serta dapat terakumulasi secara biologis dalam sumber daya air dan masuk ke dalam rantai makanan (Gonzales-condori et al., 2023). *Crystal Violet* (CV) merupakan salah satu zat warna sintetik yang bersifat kationik dan tidak mudah terurai. Perlu diketahui, zat warna kationik lebih beracun dibandingkan zat warna anionik (Haki et al., 2022). Zat warna CV juga bersifat karsinogenik yang berdampak negatif bagi kehidupan manusia dan hewan (AL-Shehri et al., 2021). Zat warna CV dapat menyebabkan iritasi kulit, disertai gejala seperti muntah, diare, sakit kepala, pusing, dan nyeri jika terhirup oleh manusia. Selain itu, paparan zat warna CV yang terlalu lama dapat merusak selaput lendir dan saluran pencernaan (Sadoq et al., 2024).

Berdasarkan masalah tersebut, diperlukan upaya untuk menghilangkan zat warna yang terdapat dalam perairan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk pengolahan pewarna dalam air limbah tekstil, seperti presipitasi kimia (Shen et al., 2019), filtrasi membran (H. Liu et al., 2020), koagulasi (Mcyotto et al., 2021), fotokatalisis (Khasawneh et al., 2021) dan adsorpsi (Kadhim et al., 2020). Metode adsorpsi dianggap sebagai metode yang ekonomis dan efektif karena relatif murah, dapat diregenerasi dan relatif sederhana dalam pengerjaannya (Pang et al., 2019). Beberapa produk pertanian telah dijadikan sebagai bahan penyerap antara lain kulit gandum (Haq et al., 2021), pare (Lim et al., 2021), biji rambutan (Zein et al., 2015), sabut kelapa (Sultana et al., 2022), dan kulit kacang (Aljeddani et al., 2023). Pada penelitian ini, biji alpukat digunakan sebagai bahan pembuatan adsorben untuk menyerap zat warna CV.

Buah alpukat (*Persea americana*) merupakan tanaman yang tumbuh di daerah tropis dan subtropis. Biji alpukat dalam kondisi kering mengandung 43-85%

karbohidrat (selulosa, hemiselulosa, lignin), 3-9% protein, 2-4% lipid dan 2-4% mineral. Selain itu, biji alpukat mengandung senyawa metabolit sekunder seperti flavonoid, fenolik, alkaloid, dan tanin (Dani Nandiyanto et al., 2023). Produksi buah alpukat di Indonesia meningkat dari 609,049 menjadi 669,260 metrik ton dari tahun 2021 hingga 2022. Namun, konsumsi manusia dan industri alpukat menghasilkan bagian yang tidak terpakai, seperti biji, kulit, dan sisa daging buah, yang terbuang sebagai limbah padat dan mencapai 30% dari berat buah (Kurniawan & Rahmat, 2023). Pemanfaatan limbah biji alpukat ini dapat memberikan peluang untuk menghasilkan bahan penyerap polutan yang ramah lingkungan (T. Ahmad & Danish, 2022). Komposisi biji alpukat sebagian besar terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang kaya akan gugus fungsi hidroksil, karbonil, dan karboksilat yang berpotensi menyerap zat warna CV dengan baik (Munagapati et al., 2021).

Penerapan biji alpukat sebagai biosorben telah dilakukan dalam penelitian sebelumnya. Mahmoud telah menggunakan biji alpukat untuk menghilangkan Cr(VI) dengan kapasitas penyerapan maksimum 21,8 mg/g (Mahmoud et al., 2022). M. Essoufy telah menggunakan biji alpukat untuk menghilangkan zat warna kationik *basic yellow 28* dan zat warna anionik *tartrazine* dengan kapasitas penyerapan maksimum secara berturut-turut sebesar 49,30 mg/g pada pH 10 dan 38,43 mg/g pada pH 2 (Essoufy et al., 2024). Penelitian juga dilakukan oleh S. Orozco menggunakan kulit alpukat dan biji alpukat untuk menghilangkan zat warna *Rhodamin B* menghasilkan kapasitas penyerapan maksimum secara berturut-turut sebesar 13,12 dan 17,99 mg/g (Orozco et al., 2024). Namun, biosorben berbahan limbah pertanian ini masih memerlukan modifikasi untuk meningkatkan kapasitas penyerapan (Zein, Billian, et al., 2020).

Modifikasi adsorben dapat dilakukan secara fisik atau kimia dengan meningkatkan porositas atau menambahkan gugus fungsional pada permukaannya (Munagapati et al., 2021). Beberapa *modifier* yang sering digunakan pada biosorben limbah pertanian, seperti asam sitrat (Zein, Putri, et al., 2024), daging bekicot (Rahmiana Zein & -, 2023), polietilenamina (Zein, Chaidir, et al., 2020), serta polimer dan surfaktan (T. Ahmad & Danish, 2022). Beberapa adsorben dan *modifier* yang pernah digunakan untuk menyerap zat warna CV adalah daun mata

kucing-NaOH (Priyantha et al., 2020), bambu- NaCO_3 (Laskar & Kumar, 2017), daun *Argania spinosa*-asam sitrat (Selhami et al., 2024), daun kelor-karbon aktif (Raji et al., 2023) dan eceng gondok-natrium dodesil sulfat (Kaur et al., 2013). Namun, belum ada penelitian yang menggunakan pupa *Black Soldier Fly* (BSF) sebagai *modifier* bahan penyerap. BSF (*Hermetia illucens*) merupakan serangga yang termasuk dalam keluarga *Stratiomyidae* yang mudah ditemukan di wilayah tropis. BSF adalah serangga populer yang berpotensi dikembangkan sebagai agen biokonversi untuk berbagai limbah organik dan kotoran ternak (Elouali et al., 2024). Siklus daur hidup BSF meliputi telur, larva, prepupa, pupa, dan lalat (Hidayah et al., 2025). Kandungan protein yang tinggi mencapai 46%, diikuti oleh 8,2% lemak, 9,6% abu, serta 13% kitin (X. Liu et al., 2017). Senyawa protein memiliki kandungan gugus karbonil (C=O) dan karboksilat (COO^-) yang tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan interaksi antara biosorben dan zat warna kationik. Beberapa penelitian telah menggunakan BSF sebagai bahan penyerap, seperti untuk menyerap *Methylene Blue* (Choirul et al., 2024), dikompositkan dengan buah durian untuk menyerap Cr(VI) (Nguyen et al., 2024), serta ekstrak kitin (21,14%) dan kitosan (65,89%) dari prepupa BSF untuk menyerap Cd dan Zn (Elouali et al., 2024).

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, penggunaan pupa BSF sebagai modifier yang efisien untuk biji alpukat dalam meningkatkan kapasitas penyerapan zat warna CV sangat didukung. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk memodifikasi biosorben biji alpukat menggunakan pupa *Black Soldier Fly* (BA-BSF) sebagai bahan penyerap zat warna CV dengan metode adsorpsi secara *batch*. Karakteristik permukaan biosorben BA-BSF sebelum dan sesudah penyerapan dibuktikan melalui analisis *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX), *X-Ray Fluorescence* (XRF), *Thermogravimetric Analysis* (TGA), *Brunauer-Emmett-Teller* (BET), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), serta penentuan kapasitas penyerapan CV dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Selain itu, juga dipelajari model kinetika, model isoterm, dan studi termodinamika untuk memahami mekanisme adsorpsi, serta studi *reusability* untuk mengetahui potensi penggunaan biosorben secara berulang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat diperoleh beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh modifikasi biji alpukat dengan pupa *Black Soldier Fly* (BA-BSF) terhadap peningkatan kapasitas penyerapan zat warna *crystal violet*, serta seberapa efisien siklus *reusability* yang dihasilkan?
2. Bagaimana model isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi dapat menjelaskan jumlah lapisan, jenis interaksi, serta parameter termodinamika (ΔG° , ΔH° , dan ΔS°) pada penyerapan zat warna *crystal violet* menggunakan biosorben BA dan BA-BSF?
3. Bagaimana karakteristik biosorben BA dan BA-BSF meliputi keberadaan gugus fungsi menggunakan FTIR, komposisi kimia menggunakan XRF, stabilitas termal menggunakan TGA, dan morfologi permukaan menggunakan SEM-EDX, sebelum dan sesudah penyerapan?
4. Bagaimana pengaruh kondisi optimum terhadap aplikasi penyerapan zat warna *crystal violet* pada limbah laboratorium menggunakan biosorben BA dan BA-BSF?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan di atas, maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mempelajari pengaruh modifikasi biji alpukat dengan pupa BSF sebagai penyerap zat warna *crystal violet* serta efisiensi siklus *reusability* biosorben.
2. Menganalisis model isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi untuk menjelaskan bentuk lapisan, jenis interaksi, serta parameter termodinamika (ΔG° , ΔH° , dan ΔS°) pada penyerapan zat warna *crystal violet* oleh BA dan BA-BSF.
3. Menganalisis karakteristik biosorben BA dan BA-BSF, seperti gugus fungsi menggunakan FTIR, komposisi kimia menggunakan XRF, stabilitas termal menggunakan TGA, dan morfologi permukaan menggunakan SEM-EDX sebelum dan sesudah penyerapan.
4. Mengaplikasikan kondisi optimum untuk penyerapan zat warna *crystal violet* pada limbah laboratorium dengan biosorben BA dan BA-BSF.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi dan manfaat dalam menangani kontaminan zat warna, seperti *crystal violet*, dari limbah cair dengan memanfaatkan biomassa berupa biji alpukat sebagai biosorben. Selain itu, aplikasi kondisi optimum penyerapan zat warna *crystal violet* dengan biji alpukat pada limbah laboratorium diharapkan dapat menjadi solusi dan inovasi baru dalam penggunaan biosorben berbahan limbah pertanian.

