



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

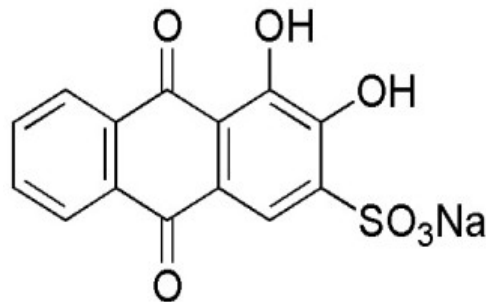
Industrialisasi merupakan parameter utama bagi pertumbuhan ekonomi suatu negara dan modernisasi kehidupan. Oleh karena itu, berbagai industri besar dan menengah memainkan peran kunci dalam pembangunan ekonomi negara, baik di negara maju maupun negara berkembang. Industri tekstil memegang peranan terbesar karena kemampuannya dalam menciptakan berbagai peluang kerja dan integrasinya dengan berbagai sektor ekonomi, baik secara global maupun lokal (Adane et al., 2021). Hal ini terbukti dengan adanya industri tekstil skala kecil menengah (IKM) yang semakin berlimpah. Namun, umumnya industri tekstil membuang limbahnya langsung ke sungai tanpa proses pengelolaan, sehingga dapat menimbulkan pencemaran (Chafidz dan Lestari, 2021). Industri tekstil merupakan salah satu industri dengan polusi tertinggi. Air limbah industri tekstil mengandung polutan yang berbahaya seperti surfaktan, klorobenzena, fenol, dan logam berat (Kishor et al., 2021) seperti merkuri, kromium, kadmium, timbal, dan arsen yang diperlukan dalam produksi pigmen zat warna (Singha, 2021). Berbagai pewarna sintetik seperti pewarna azo, pewarna sulfida, pewarna asam banyak digunakan dalam industri tekstil (Cao et al., 2023). Zat warna sintetik banyak digunakan untuk industri tekstil karena harganya murah dan pigmen warnanya tahan (Chafidz dan Lestari, 2021). Produksi zat warna sintetik tiap tahun lebih dari 700.000 ton dengan 10.000 jenis zat warna dan sekitar 20% dari zat warna tekstil yang telah digunakan akan terbuang. Akibatnya kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) meningkat, fotosintesis dan pertumbuhan tanaman terhambat (Ardila et al., 2021). Untuk menjaga kualitas lingkungan perairan, setiap negara telah menerapkan peraturan ambang batas kadar COD dan BOD. Regulasi ini bertujuan untuk mengendalikan pencemaran air akibat limbah industri dan domestik, sehingga keseimbangan ekosistem tetap terjaga serta kesehatan masyarakat dapat dilindungi (Chafidz dan Lestari, 2021).

Molekul zat warna sintetik mengandung kromofor dan auksokrom. Kromofor adalah molekul yang memiliki sistem elektron terdelokalisasi dengan ikatan rangkap yang tersusun secara bergantian. Struktur ini memungkinkan molekul menyerap panjang gelombang cahaya tampak tertentu, sehingga menghasilkan penampakan warna. Namun demikian, kehadiran kromofor saja mungkin tidak cukup untuk menghasilkan warna yang pekat atau stabil (Noori et al., 2024). Sementara itu, auksokrom adalah gugus tambahan yang dapat menarik atau mendonorkan elektron, sehingga meningkatkan warna yang dihasilkan oleh kromofor (Ayele et al., 2021). Selain itu, auksokrom meningkatkan kelarutan dan kapasitas pengikatan zat warna pada serat tekstil (Noori et al., 2024). Beberapa gugus kromofor yang penting yaitu gugus azo ($-N=N-$), vinil ($-C=C-$), nitro ($-NO_2$), dan karbonil ($-C=O$). Adapun gugus auksokrom yang penting adalah $-NH_2$, $-COOH$, $-SO_3H$ dan $-OH$ (Haryono dan Rostika, 2018).

Akibat dari adanya gugus fungsi tersebut, limbah zat warna tekstil sintetik dapat menimbulkan masalah pada manusia seperti, iritasi kulit, iritasi mata, dan kanker. Bahkan limbah tersebut dapat menyebabkan mutasi genetik bagi kehidupan biota laut



(Ariguna et al., 2020). Berbagai jenis logam berat diketahui turut digunakan untuk pewarnaan tekstil. Salah satunya adalah antimon (Sb) yang ditemukan secara sintetis. Selain itu, logam kromium (Cr) umum dimanfaatkan sebagai fiksatif hingga warna yang dihasilkan menjadi lebih tahan lama dan tidak mudah luntur saat dicuci (Mohan dan Shukla, 2022). Salah satu limbah zat warna tekstil sintetis yang kerap ditemukan bahkan sulit dihilangkan adalah *Alizarin Red S* (ARS). Zat warna ARS dengan struktur seperti Gambar 1 merupakan zat warna antrakuinon (1,2-dihidroksi-9,10-antrakuinon-3-sulfonat) yang berperan dalam meningkatkan intensitas warna yang dihasilkan (Ding et al., 2024). ARS termasuk ke dalam zat warna yang diklasifikasikan menjadi zat warna ionik karena mengandung ion Na^+ dan SO_3^- . Zat warna yang termasuk ke dalam golongan ini sering digunakan untuk mewarnai tekstil karena kecenderungannya membentuk ikatan kovalen dengan serat seperti serat selulosa. Ikatan kovalen dapat terbentuk karena adanya gugus kromofor dan gugus auksokrom (Ali, 2023). Senyawa ARS bersifat amfoter karena senyawa tersebut memiliki donor dan akseptor elektron. Senyawa ARS mengandung beberapa gugus fungsi yaitu gugus sulfonat, gugus hidroksil, dan gugus karbonil (Jiang et al., 2020). Warna yang dihasilkan dari ARS adalah merah. Hal tersebut disebabkan oleh adanya antrakinon dan auksokrom dalam ARS. ARS dengan rumus molekul $\text{C}_{14}\text{H}_7\text{NaO}_7\text{S}$ yang merupakan turunan antrakinon yang berfungsi sebagai kromofor. Antrakinon dapat mengadsorpsi cahaya pada panjang gelombang tertentu yang menghasilkan warna khas (Ding et al., 2024).



Gambar 1. Struktur Alizarin Red S (Ali et al., 2020)

Limbah zat warna tekstil dapat dihilangkan dengan berbagai cara, diantaranya dengan metode adsorpsi, metode filtrasi, metode koagulasi, dan metode ozon (Ariguna et al., 2020). Selain itu, pemanfaatan organisme seperti bakteri, alga, dan fungi dapat dimanfaatkan untuk menghilangkan zat warna (Al Tohami et al., 2020). Metode-metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan (Ariguna et al., 2020). Namun, untuk mengatasi limbah zat warna tekstil sintetis, metode yang banyak digunakan ialah metode adsorpsi. Metode adsorpsi dianggap efektif untuk menghilangkan zat warna dari limbah karena metode ini sederhana dan tidak membutuhkan biaya yang besar. Menurut *The United States Environmental Protection Agency* (USEPA), metode adsorpsi merupakan salah satu teknik pengolahan limbah yang paling baik di antara metode lainnya (Rashid et al., 2021).

Berdasarkan cara zat warna teradsorpsi ke permukaan adsorben, adsorpsi dibagi menjadi 2 yaitu fisisorpsi (adsorpsi fisika) dan kemisorpsi (adsorpsi kimia). Proses



Warna melibatkan gaya Van der Waals, interaksi elektrostatis, dan ikatan hidrogen (Rabia et al., 2021). Beberapa model dapat digunakan untuk menggambarkan interaksi antara adsorbat dan adsorben. Model yang umum digunakan adalah model Langmuir dan isoterm Freundlich. Proses adsorpsi pada model isoterm Langmuir terjadi sebagai akibat adanya lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi dalam model isoterm Langmuir diasumsikan bahwa, setiap sisi adsorben memiliki permukaan yang homogen dengan energi yang sama, hanya satu molekul adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh setiap sisi aktif adsorben. Interaksi antara molekul yang terserap dengan sisi adsorben di sekitarnya tidak terjadi dan pada saat adsorpsi maksimum hanya satu lapisan terbentuk (Nurhidayati et al., 2022). Isoterm Freundlich merupakan model yang menjelaskan adsorpsi molekul pada permukaan heterogen (Brazesh et al., 2021). Isoterm adsorpsi juga dapat memperlihatkan hubungan antara jumlah adsorbat yang teradsorpsi tiap satuan berat adsorben dan jumlah adsorbat yang tetap berada dalam larutan saat kesetimbangan. Model isoterm adsorpsi yang diperoleh dari nilai tetapan isoterm akan menggambarkan sifat permukaan dan kapasitas adsorpsi dari adsorben (Chakraborty et al., 2022).

Berdasarkan uraian di atas maka, istilah adsorpsi merujuk pada tahapan menyatukan komponen terlarut dalam suatu larutan (adsorbat) pada permukaan komponen lain sebagai adsorben. Dengan demikian, pemilihan adsorben merupakan hal yang penting. Berbagai macam adsorben seperti zeolite, alumina, dan karbon aktif telah banyak digunakan untuk menghilangkan zat warna dari air limbah (Jadhav, 2021). Zeolit memiliki struktur mikropori dan luas permukaan yang tinggi. Muatan negatif pada permukaan zeolit memungkinkan terjadinya pertukaran ion positif dalam larutan, sehingga zeolit dapat digunakan untuk adsorpsi logam berat, senyawa organik, zat warna (de Magalhães et al., 2022). Proses adsorpsi pada zeolit berlangsung secara kimia melalui interaksi spesifik antara ion adsorbat dan permukaan zeolit. Mekanisme tersebut melibatkan pembentukan ikatan kimia, seperti pertukaran ion dengan gugus fungsional pada kerangka zeolit yang menyebabkan perubahan sifat permukaannya (Díez et al., 2022).

Selain zeolit, alumina (Al_2O_3) memiliki luas permukaan lebih dari $200 \text{ m}^2/\text{g}$ dan cenderung digunakan sebagai adsorben fluorida, arsenik, dan selenium dalam air. Sebelum digunakan, alumina terlebih dahulu diaktivasi. Terdapat dua metode untuk mengaktivasi alumina, yaitu secara fisika dengan pemanasan pada suhu tinggi dan secara kimia dengan perendaman larutan asam (Alhassan et al., 2021). Adsorben alumina terjadi proses fisisorpsi dan melibatkan gaya van der Waals, interaksi dipol-dipol, dan ikatan hidrogen. Proses fisisorpsi tidak memerlukan energi aktivasi, sehingga tidak ada pertukaran elektron antara adsorben dan adsorbat (Rabia et al., 2023). Akan tetapi, diantara jenis-jenis adsorben karbon aktif umum digunakan (Jadhav, 2021). Karbon aktif banyak digunakan karena bahan dasar untuk pembuatannya terdapat melimpah di alam dan dapat menggunakan limbah pertanian. Salah satu limbah pertanian yang dapat digunakan adalah biomassa yang mengandung lignoselulosa seperti batang tebu, tongkol jagung, dan kulit pisang (Manurung et al., 2023).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) 2019, sampah yang dominan adalah sampah organik seperti buah dan sayur dengan komposisi sekitar 60%, disusul sampah plastik sebesar 14% dan sampah kertas sebesar 9% di posisi ketiga. Limbah yang berpotensi untuk diolah adalah limbah kulit pisang. Limbah kulit pisang



nukan di Masyarakat (Al-Sareji et al., 2024). Data menunjukkan bahwa pisang di Indonesia mencapai 6.862.558 ton atau sekitar 34,65% dari total di Indonesia (Anhar et al., 2023). Selama ini, masyarakat hanya mengolah pisang saja sedangkan kulitnya dibuang. Jumlah kulit pisang yang cukup banyak akan memiliki nilai jual yang menguntungkan apabila bisa memanfaatkan. Salah satu pengolahannya ialah dijadikan karbon aktif (Winata et al., 2020). Pada penelitian ini, limbah kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca*) digunakan sebagai adsorben dalam pembuatan karbon aktif karena memiliki kandungan hemiselulosa yang tinggi (74,9%), lignin (7,9%), dan selulosa (7,5%) (Astuti et al., 2023).

Sebelum diaplikasikan, karbon aktif terlebih dahulu dipanaskan dan diaktivasi (Winata et al., 2020). Tahapan pemanasan dilakukan untuk memperoleh proses perubahan senyawa organik yang menyusun struktur material akibat proses pemanasan pada temperatur tinggi (Nguyen et al., 2022). Pada tahapan aktivasi, proses tersebut membutuhkan gas CO₂, uap air, atau senyawa kimia yang memiliki potensi yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi yang baik bagi zat warna karena aktivasi akan membuka pori-pori karbon dan zat pengotor. Karbon diaktifkan dengan direndam di dalam larutan kimia seperti, HNO₃, ZnCl₂, H₃PO₄, dan KOH (Winata et al., 2020). Dari aktivator-aktivator tersebut, asam fosfat lebih baik karena dapat menghasilkan volume pori dan diameter pori yang lebih tinggi karena adanya gugus fosfat, karbon aktif H₃PO₄ sangat efektif untuk menyerap pewarna kationik, logam berat, dan polutan organik dalam pengolahan air limbah (Neme et al., 2022). Aktivator H₃PO₄ dapat berkontribusi pada pembentukan tar selama aktivasi karbon karena perannya dalam mengurai komponen organik, seperti lignin dan selulosa dalam sampel (Ma et al., 2020). Selain itu, H₃PO₄ memiliki kemampuan untuk menyerap air, yang berarti bahwa saat diterapkan pada arang aktif, aktivator tersebut dapat mengikat molekul air yang ada. Proses ini membantu dalam mengurangi kadar air dalam karbon aktif untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi (Saitun et al., 2024). Terikatnya molekul air oleh H₃PO₄ menyebabkan pori-pori pada arang aktif semakin besar. Hal tersebut terjadi karena saat molekul air menguap selama proses pengeringan, pori-pori yang lebih besar tetap terbentuk, sehingga meningkatkan luas permukaan karbon aktif (Dwityaningsih et al., 2023).

Karbon aktif digunakan di dunia industri untuk menghilangkan bau pada pengolahan air yaitu untuk gas hidrogen sulfida (H₂S), mengurangi gas beracun seperti anilin dan nitrobenzena dalam air limbah industri kimia, sebagai katalis dalam proses mengubah limbah polietilena menjadi bahan bakar hidrokarbon yang mirip dengan diesel, dan memurnikan minyak ataupun dalam kehidupan sehari-hari seperti dan menghapus warna. Karbon aktif memiliki potensi untuk proses penyerapan senyawa organik atau anorganik dan menghilangkan kotoran pada air karena luas permukaannya mencapai 500 m² (Hendrawan dan Sultan, 2020).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi ARS oleh karbon teraktivasi dari limbah kulit pisang kepok. Proses adsorpsi bergantung pada waktu kontak, massa adsorben, dan konsentrasi zat warna, sehingga pengaruh parameter tersebut terhadap adsorpsi zat warna dipelajari. Karakterisasi karbon aktif teraktivasi dilakukan dengan menggunakan SEM, FTIR, dan SAA. Selain itu, kemampuan adsorpsi karbon aktif dan karbon non aktivasi untuk menyerap senyawa ARS akan dievaluasi secara kualitatif dan kuantitatif.