

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri tekstil adalah salah satu sektor manufaktur yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi global. Namun industri ini juga menyebabkan limbah cair yang berdampak buruk terhadap lingkungan (Sukarta *et al.*, 2025a). Kondisi ini dipengaruhi oleh karakteristik efluen industri tekstil yang sangat kompleks, di mana komposisinya didominasi oleh tingkat alkalinitas (pH) dan salinitas yang tinggi, serta wujud fisik berupa intensitas warna yang pekat dan aroma yang menyengat (Pipil *et al.*, 2022). Pembuangan limbah zat warna ke badan air tanpa melalui pengolahan pendahulu berpotensi memicu degradasi ekosistem akuatik, serta memberikan ancaman toksikologis yang serius terhadap kesehatan masyarakat. Selain itu juga bisa mengganggu dan membuat air menjadi keruh karena sinar matahari tidak bisa menetrasi air hingga ke bawah. Kondisi tersebut dapat menghambat laju produksi oksigen terlarut melalui proses fotosintesis, sekaligus mendisrupsi metabolisme mikroorganisme yang hidup di lingkungan perairan (Hidayati *et al.*, 2016).

Limbah cair dari industri tekstil berasal dari pembuangan sisa zat warna yang digunakan untuk mewarnai kain. Dari 100% zat warna yang diaplikasikan sekitar 10-50% zat warna tidak diserap dan bereaksi dengan serat kain (Noza 2024). Industri tekstil sampai saat ini masih menggunakan zat warna sintetik karena preferensi penggunaan bahan ini didasarkan pada efisiensi biaya, ketersediaan spektrum warna yang luas, kepraktisan aplikasi, serta kemampuannya dalam menghasilkan pigmentasi yang tajam dan memiliki stabilitas tinggi terhadap pelunturan (Alfajar *et al.*, 2023). Sektor industri tekstil secara global mengaplikasikan lebih dari 10.000 varian zat pewarna dalam siklus produksinya, dimana *Remazol Brilliant Blue R* merupakan salah satu jenis polutas pewarna yang kerap diidentifikasi (Setiawan *et al.*, 2023). Karakteristik ini sangat berkaitan dengan klasifikasi *Remazol Brilliant Blue R* sebagai senyawa pewarna golongan

reaktif. Gugus kromofor dari *Remazol Brilliant Blue R* diketahui mampu memperoleh warna yang cerah pada serat kain serta tidak mudah luntur (Wahyuningsih *et al.*, 2019). *Remazol Brilliant Blue R* yang mempunyai warna biru dikarenakan kandungan gugus yang mengandung ikatan $-C=O$ dan $-C=C$ yang menyebabkan sulit terdegradasi (Wahyuningsih *et al.*, 2019). Oleh karena itu, limbah *Remazol Brilliant Blue R* diklasifikasikan sebagai senyawa toksik yang bersifat karsinogenik dan membahayakan kesehatan manusia. Apabila terlepas ke badan air, limbah ini berpotensi mendegradasi kualitas lingkungan dengan cara menurunkan kadar oksigen terlarut, mengganggu keseimbangan derajat keasaman (pH) alami, serta mendisrupsi kelangsungan hidup mikroorganisme dan biota akuatik lainnya (Setiawan *et al.*, 2023).

Penanganan limbah pewarna sintesis menghadapi tantangan teknis yang signifikan akibat keberadaan cincin aromatik dalam struktur kimianya, yang menyebabkan zat ini sangat persisten dan sulit dipecah secara alami (*rekalsitran*). Di samping merusak kualitas visual lingkungan akuatik sebagai tempat pembuangan akhir, senyawa pewarna tekstil ini secara luas diklasifikasikan sebagai polutan organik dengan tingkat *biodegradabilitas* yang sangat rendah (*non-biodegradabel*) (Oko *et al.*, 2022). Berbagai teknik remediasi telah dikembangkan guna mendegradasi limbah *Remazol Brilliant Blue R* sebelum dilepaskan ke badan air penerima, mencakup koagulasi, filtrasi, elektrokolorisasi, hingga dasorpsi. Di antara berbagai alternatif tersebut, teknik adsorpsi tampil sebagai metode yang paling ekstensif diaplikasikan. Preferensi ini didasarkan pada serangkaian keunggulan komparatifnya, meliputi desain operasional yang praktis, selektivitas dan kapasitas penyarapan yang mumpuni, efisiensi dari segi ekonomi, serta kemampuannya beroperasi tanpa menghasilkan produk sampingan yang bersifat toksik (Azizah 2020). Adsorpsi merupakan fenomena permukaan yang melibatkan proses penjerapan (adsorpsi) dan pelepasan (desorpsi). Pada awal reaksi, proses adsorpsi berlangsung lebih dominan. Seiring berjalannya waktu, laju desorpsi mulai meningkat hingga sistem mencapai kondisi kesetimbangan, di mana laju penjerapan dan pelepasan zat terjadi secara simultan dengan kecepatan yang sama. Proses menempelnya adsorbat pada permukaan adsorben ini dipicu oleh adanya tekanan atau gaya ikatan antarzat (Setiawan *et al.*, 2023). Arang aktif merupakan jenis

adsorben yang paling umum digunakan dalam proses adsorpsi. Bahan ini dipilih karena mempunyai luas permukaan yang lebih besar, kapasitas adsorpsi yang tinggi, pengoperasian yang mudah, dan biaya produksi yang relatif rendah. (Oko *et al.*, 2022).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai pemanfaatan limbah pertanian sebagai arang aktif untuk mengadsorpsi limbah zat warna terus berkembang pesat, yaitu seperti cangkang buah kopi (Sukarta *et al.*, 2025b), sabut pinang (Ahmad Fitriansyah *et al.*, 2021), ampas singkong (Wahyuningsih *et al.*, 2019), biji salak (Maulidiyah *et al.*, 2021), batang ubi kayu (Prमितasari *et al.*, 2022), tempurung buah lontar (Ridwan *et al.*, 2024), tongkol jagung (Kusumawati *et al.*, 2023), dan sebagainya. Dari banyaknya sumber limbah pertanian, limbah kayu kopi telah menarik perhatian untuk penelitian yang digunakan untuk mengadsorpsi zat warna. Karena sediaan kayu kopi sangat melimpah di Indonesia, namun sangat jarang dimanfaatkan secara optimal. Masyarakat lebih memilih menggunakan kompor gas dari pada memanfaatkan kayu kopi sebagai kayu bakar.

Di tingkat global, Indonesia menempati posisi keempat selaku produsen kopi terbanyak sehabis Brasil, Vietnam, serta Kolombia (Rochim 2017). Pada tahun 2020/2021, Indonesia menduduki peringkat kelima sebagai konsumen kopi terbesar di dunia, dengan tingkat konsumsi 5 juta karung yang masing-masing berbobot 60 kilogram. Tingkat konsumsi yang tinggi ini secara langsung terkait dengan peningkatan volume produksi kopi domestik. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), produksi kopi pada tahun 2021 mencapai 786,2 ribu ton, meningkat dari tahun sebelumnya sebesar 762,4 ribu ton, dan terus tumbuh, mencapai 794,8 ribu ton pada tahun 2022. (Fiqhry *et al.*, 2024). Data tersebut menunjukkan bahwa Indonesia memiliki area perkebunan kopi yang sangat luas. Meskipun demikian, potensi kayu kopi belum dimanfaatkan sepenuhnya hingga saat ini. Bahan ini masih sering dianggap sebagai limbah perkebunan yang hanya digunakan sebagai kayu bakar, sehingga belum memperoleh nilai ekonomi yang besar (Rochim 2017). Maka dari itu untuk mengurangi limbah kayu kopi, penelitian ini memanfaatkan kayu kopi sebagai adsorben. Kayu kopi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben karena material ini memiliki struktur yang sangat keras dan kuat, serta mengandung berbagai senyawa aktif didalamnya yang tidak jauh berbeda dengan senyawa aktif

penyusun kayu pada umumnya, yaitu lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Kandungan lignin, selulosa, dan hemiselulosa pada kayu kopi sangat bervariasi, namun umumnya lignin berkisar antara 25-30%, selulosa sekitar 40-50%, dan hemiselulosa sekitar 20-30% (Tjutju 1988). Lignin merupakan polimer aromatik yang mengandung gugus fenolik. Gugus fenolik ini memiliki kemampuan untuk berinteraksi dengan berbagai zat melalui ikatan hidrogen, gugus karbonil (C=O), karboksil (-COOH), dan aromatik (C=C) yang berperan dalam proses adsorpsi. Selulosa dan hemiselulosa merupakan polisakarida yang mengandung banyak gugus hidroksil (-OH). Gugus hidroksil mampu berinteraksi dengan molekul lain melalui ikatan hidrogen, sehingga berpotensi bertindak sebagai situs aktif adsorpsi (Noza 2024). Selain itu, kayu kopi merupakan adsorben termurah dan sumbernya sangat melimpah, hal ini menarik perhatian para peneliti lingkungan untuk memanfaatkan dalam menyisihkan berbagai polutan dari media air. Pemanfaatan kayu kopi untuk menyisihkan berbagai kontaminan telah dipelajari secara insentif selama beberapa dekade terakhir. Kayu kopi alami kemampuan adsorpsinya rendah bersamaan dengan pengotor tinggi dan muatan negatifnya. Guna meningkatkan efisiensinya, beberapa metode modifikasi telah diterapkan, seperti aktivasi kimia menggunakan asam atau basa, pelapisan logam, serta aktivasi termal (Damayanti 2024).

Selain itu, agen aktivator tidak terbatas pada golongan asam dan basa kuat, melainkan dapat pula berupa garam mineral. Arif dan Harmastuti (2023) Disebutkan bahwa mineral seperti CaCl_2 memiliki keunggulan khusus karena dapat menghilangkan air yang terperangkap dalam pori-pori karbon, memecah endapan hidrokarbon yang terbentuk selama karbonasi, dan melindungi permukaan karbon dari oksidasi. CaCl_2 memiliki sifat higroskopis yang membantu mengurangi kadar udara dalam arang aktif, sehingga meningkatkan efisiensi adsorpsi. Selain itu CaCl_2 dapat digunakan dalam kondisi yang lebih ramah lingkungan dan lebih mudah diolah dibandingkan dengan beberapa aktivator kimia lainnya (Hatina 2019). Siswati *et al.*, (2015) yang melakukan penelitian mengenai pembuatan arang aktif dari tulang ikan dilakukan melalui tahapan aktivasi menggunakan CaCl_2 yang disertai pemanasan pada suhu dan waktu tertentu, kemudian dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan H_2SO_4 12%. Hasil penelitian dengan variasi konsentrasi

dan waktu kontak, menunjukkan bahwa kondisi optimum terbaik untuk pembuatan arang aktif adalah konsentrasi CaCl_2 20%, waktu aktivasi 40 menit, dan suhu aktivasi 75°C . Kondisi ini menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 99,12 mg/g untuk metilen biru. Dalam penelitian ini, akan mempelajari karakteristik arang aktif dari limbah kayu kopi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan mengamati efisiensi arang aktif dari kayu kopi yang diaktivasi menggunakan CaCl_2 untuk mengadsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R*. Selain itu juga akan diamati pola isoterm adsorpsi, termodinamika, dan kinetika adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi. Dengan adanya penelitian ini diharapkan arang aktif kayu kopi mampu menunjukkan efisiensi adsorpsi yang tinggi terhadap zat warna *Remazol Brilliant Blue R* dan diharapkan dapat mengidentifikasi kondisi optimum untuk proses adsorpsi, termasuk pH, waktu kontak, dan konsentrasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat disusun permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik arang aktif dari limbah kayu kopi?
2. Berapakah daya adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif limbah kayu kopi?
3. Bagaimanakah pola isoterm adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi?
4. Bagaimana termodinamika adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi?
5. Bagaimana kinetika adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, adalah sebagai berikut..

1. Untuk mengetahui karakteristik arang aktif dari limbah kayu kopi.

2. Untuk menentukan daya adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif limbah kayu kopi.
3. Untuk mengetahui pola isoterm adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi.
4. Untuk mengetahui termodinamika adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi.
5. Untuk mengetahui kinetika adsorpsi zat warna *Remazol Brilliant Blue R* oleh arang aktif dari limbah kayu kopi.

1.4 Manfaat Hasil Penelitian

Berdasarkan tujuan tersebut, manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membantu dalam penanganan limbah zat warna *Remazol Brilliant Blue R* dan kayu kopi.
2. Sebagai referensi baru tentang pengkajian pemisahan limbah zat warna *Remazol Brilliant Blue R* dengan memanfaatkan limbah kayu kopi menjadi arang aktif sebagai adsorben.

