

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pembelajaran sains abad ke-21 tidak hanya menuntut penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah berdasarkan bukti dan penalaran ilmiah. Kemampuan ini dikenal sebagai *scientific explanation*, yaitu kemampuan menyusun penjelasan melalui keterpaduan *claim*, *evidence*, dan *reasoning* dalam kerangka *Claim–Evidence–Reasoning* (CER) (McNeill & Krajcik, 2008). *Scientific explanation* merupakan indikator penting literasi sains karena membantu mahasiswa memahami dan mengambil keputusan terhadap berbagai permasalahan ilmiah. Penerapan kerangka CER secara eksplisit dalam pembelajaran terbukti dapat meningkatkan kualitas penjelasan ilmiah mahasiswa (Novak & Treagust, 2018).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kemampuan *scientific explanation* mahasiswa masih tergolong rendah. Mahasiswa masih kesulitan mengintegrasikan *claim*, *evidence*, dan *reasoning*, sehingga penjelasan yang diberikan cenderung hanya berupa deskripsi fakta tanpa didukung penalaran ilmiah yang memadai (Laliyo dkk., 2023). Mahasiswa juga cenderung hanya mendeskripsikan data eksperimen tanpa mampu menginterpretasikan makna ilmiah atau menghubungkannya dengan konsep kimia yang relevan (Berg dkk., 2022). Selain itu, pemahaman konsep belum tentu diikuti kemampuan menyusun *scientific explanation* yang baik, dan sebagian besar mahasiswa masih kesulitan menyusun argumentasi berbasis bukti dengan jawaban yang dangkal serta kurang mengaitkan data dengan konsep kimia (Kararo dkk., 2019). Kondisi serupa ditemukan pada pembelajaran kimia lingkungan, di mana mahasiswa masih kesulitan menjelaskan hubungan antara fenomena lingkungan, data yang diperoleh, dan konsep kimia yang mendasarinya, sehingga kegiatan praktikum lebih berfokus pada perolehan hasil percobaan daripada pemahaman fenomena ilmiah yang terjadi (Annida dkk., 2024). Kondisi ini diperkuat oleh temuan bahwa mahasiswa sering kesulitan menghubungkan hasil pengamatan dengan konsep ilmiah serta menarik kesimpulan

logis berdasarkan data, sebagai akibat pembelajaran sains yang masih bersifat prosedural dan berpusat pada dosen (Novak, 2018).

Salah satu faktor yang turut memengaruhi perkembangan kemampuan *scientific explanation* adalah desain lembar kerja (LK) praktikum yang digunakan. LK yang masih bersifat prosedural umumnya hanya mengarahkan mahasiswa mengikuti langkah kerja dan mencatat hasil pengamatan, tanpa memfasilitasi perumusan masalah, analisis data, maupun penyusunan penjelasan ilmiah, sehingga berpotensi membatasi kesempatan mahasiswa dalam melatih kemampuan menyusun CER secara optimal (Lugo dkk., 2020). Berbagai upaya pengembangan LK telah dilakukan, diantaranya LK berbasis (PBL), LK berbasis STEM, maupun LK kontekstual. E-LKPD berbasis PBL-STEM terbukti valid dan efektif meningkatkan hasil belajar kimia, namun pengukurannya berfokus pada hasil belajar dan belum meningkatkan kemampuan *scientific explanation* secara eksplisit (Anggreini dkk., 2025). LK berbasis PBL-STEM dan LK kontekstual juga mampu meningkatkan literasi sains dan pemahaman konsep, tetapi belum mengarahkan mahasiswa untuk menyusun *claim*, *evidence*, dan *reasoning* secara sistematis (Maslichah dkk., 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun berbagai jenis LK telah dikembangkan, belum banyak yang secara khusus dirancang untuk memfasilitasi kemampuan *scientific explanation* mahasiswa secara utuh. Oleh karena itu, diperlukan desain LK yang tidak hanya mendorong pemahaman konsep, tetapi juga secara eksplisit memfasilitasi mahasiswa dalam membangun penjelasan ilmiah berbasis bukti.

Salah satu alternatif yang dapat memfasilitasi hal tersebut adalah LK berbasis inkuiri terbimbing. LK ini menyajikan tahapan terstruktur meliputi orientasi masalah, perumusan hipotesis, pengumpulan dan analisis data, serta penyusunan kesimpulan, sehingga mahasiswa diarahkan untuk secara sistematis membangun keterkaitan antara *claim*, *evidence*, dan *reasoning*. LKM berbasis inkuiri terbimbing terbukti meningkatkan pemahaman konseptual dan motivasi belajar mahasiswa dibandingkan LKM tradisional (Saija dkk., 2022). Saija dkk. (2020) yang melaporkan kenaikan skor rata-rata pemahaman konseptual dari 65,73 pada kelas tradisional menjadi 74,09 pada kelas berbasis inkuiri terbimbing, atau naik sekitar

12,7% serta efektif meningkatkan hasil belajar dan keterlibatan peserta didik dalam pembelajaran kimia (Utami dkk., 2025). LK berbasis inkuiri terbimbing juga terbukti meningkatkan literasi sains peserta didik, yang berkaitan erat dengan kemampuan *scientific explanation* karena keduanya menuntut kemampuan menggunakan bukti untuk membangun argumen ilmiah (Zahrah dkk., 2023); meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih menitikberatkan pada pemahaman konseptual, motivasi, dan literasi sains secara umum, belum secara eksplisit dirancang untuk membangun kemampuan *scientific explanation* mahasiswa melalui kerangka CER secara terstruktur.

Penerapan LK berbasis inkuiri terbimbing memerlukan konteks permasalahan nyata yang dapat dianalisis melalui eksperimen. Salah satu konteks yang relevan adalah pengolahan limbah cair industri tahu melalui metode koagulasi-flokulasi, mengingat limbah cair tahu umumnya memiliki karakteristik COD sebesar 7.771,3 mg/L, BOD 2.547,5 mg/L, dan TSS 840,5 mg/L yang menunjukkan potensi pencemaran lingkungan sangat tinggi apabila tidak diolah (Pangestika, 2020), sebagaimana juga ditemukan pada limbah organik tinggi lainnya seperti limbah industri susu (Justina dkk., 2018) dan limbah POME (Jagaba dkk., 2020). Tawas (aluminium sulfat) telah terbukti efektif menurunkan kekeruhan melalui proses koagulasi-flokulasi dengan efisiensi yang dipengaruhi dosis dan pH (Mensah-Akutteh dkk., 2022), serta berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kualitas air secara keseluruhan (Nurjanah dkk., 2025). Meskipun demikian, penggunaan tawas memiliki keterbatasan berupa potensi residu aluminium dan produksi lumpur yang tinggi, sehingga diperlukan alternatif koagulan yang lebih ramah lingkungan. Tanin mampu menghilangkan kekeruhan, warna, COD, dan padatan tersuspensi melalui mekanisme netralisasi muatan dan bridging (Ibrahim dkk., 2021), berpotensi menggantikan koagulan kimia karena lebih efektif dan ramah lingkungan dengan efektivitas penurunan kekeruhan dan warna hingga lebih dari 80–90% (Leiviskä dkk., 2023) serta penurunan COD dan TSS sebesar 70–85% yang sebanding dengan Poly Aluminium Chloride (PAC) namun lebih stabil terhadap pH (Justina dkk., 2018), sebagaimana koagulan alami lain seperti Moringa oleifera dan chitosan juga dapat menurunkan TSS, COD, dan kekeruhan hingga lebih dari 75% tanpa

meninggalkan residu logam berbahaya (Jagaba dkk., 2020; Oyama dkk., 2023). Kulit manggis (*Garcinia mangostana L.*) terbukti mengandung tanin dalam jumlah yang cukup tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber koagulan alami (Miranti dkk., 2016), dengan kemampuan tinggi dalam menghilangkan polutan dan padatan tersuspensi pada limbah cair (Yasin dkk., 2020). Kombinasi tawas dan tanin kulit manggis dalam proses koagulasi-flokulasi limbah cair tahu menjadi konteks yang relevan untuk melatih mahasiswa mengajukan klaim efektivitas koagulan, menganalisis data percobaan sebagai bukti, serta menjelaskan mekanisme yang terjadi sebagai penalaran dalam kerangka CER, mengingat perbedaan mekanisme kerja keduanya, tawas menetralkan muatan partikel secara cepat namun berisiko menyisakan residu aluminium dan lumpur dalam jumlah besar pada dosis tinggi, sedangkan tanin bekerja melalui mekanisme bridging yang lebih ramah lingkungan namun kurang optimal jika digunakan sendiri pada limbah berbeban organik tinggi, sehingga kombinasi keduanya berpotensi menghasilkan efek sinergis, yaitu tanin berperan sebagai *coagulant aid* yang memungkinkan pengurangan dosis tawas sekaligus menekan residu aluminium dan volume lumpur tanpa mengorbankan efektivitas penurunan kekeruhan, COD, BOD, dan TSS.

Meskipun demikian, penelitian pengolahan limbah cair selama ini masih berfokus pada aspek teknis penurunan parameter pencemar, khususnya menguji efektivitas tawas atau tanin secara terpisah tanpa banyak mengeksplorasi potensi sinergis dari kombinasi keduanya. Belum ditemukan penelitian yang secara spesifik mengintegrasikan proses koagulasi-flokulasi menggunakan kombinasi tawas dan tanin kulit manggis ke dalam LK berbasis inkuiri terbimbing untuk meningkatkan kemampuan *scientific explanation* mahasiswa. Celah ini menjadi landasan pentingnya penelitian yang tidak hanya mengkaji efektivitas koagulan, tetapi juga mengeksplorasi bagaimana konteks tersebut dapat difasilitasi secara pedagogis untuk mendorong mahasiswa menyusun *claim*, *evidence*, dan *reasoning* secara ilmiah. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berjudul " Penerapan Lembar Kerja Inkuiri Terbimbing Pada Pemanfaatan Kulit Manggis dan Tawas Sebagai Koagulan Dalam Limbah Tahu Untuk Meningkatkan Kemampuan *Scientific Explanation*."

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan konteks yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana proses pembelajaran pada penerapan lembar kerja inkuiri terbimbing pada pemanfaatan kulit manggis dan tawas sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu untuk meningkatkan kemampuan *scientific explanation*?
2. Bagaimana peningkatan kemampuan *scientific explanation* pada penerapan lembar kerja inkuiri terbimbing pada pemanfaatan kulit manggis dan tawas sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu?
3. Bagaimana hasil optimasi karakteristik limbah pabrik industri tahu pada proses pengolahan menggunakan koagulan tanin dalam kulit manggis (*Garcinia Mangostana L.*) dan tawas?

C. Tujuan Penelitian

1. Mendeskripsikan pembelajaran pada penerapan lembar kerja inkuiri terbimbing pada pemanfaatan kulit manggis dan tawas sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu untuk meningkatkan kemampuan *scientific explanation*.
2. Menganalisis peningkatan kemampuan *scientific explanation* pada penerapan lembar kerja inkuiri terbimbing pada pemanfaatan kulit manggis dan tawas sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu.
3. Menganalisis hasil optimasi proses pengolahan limbah cair industri tahu menggunakan kulit manggis dan tawas berdasarkan hasil uji laboratorium.

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif perangkat pembelajaran berupa lembar kerja berbasis inkuiri terbimbing yang dapat meningkatkan kemampuan *scientific explanation* mahasiswa dalam praktik laboratorium.
2. Menyediakan solusi praktis dalam pemanfaatan koagulan sintesis dan alami (tawas dan tanin) untuk pengolahan limbah cair industri tahu, sebagai langkah mendukung teknologi ramah lingkungan.

3. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya dalam optimalisasi metode pengolahan limbah cair dengan pendekatan berbasis inkuiri terbimbing dibidang pendidikan kimia.

E. Kerangka Berpikir

Kemampuan *scientific explanation* mahasiswa masih tergolong rendah, terutama dalam mengintegrasikan klaim, bukti ilmiah, dan penalaran ketika menjelaskan suatu fenomena sains. Mahasiswa cenderung hanya mendeskripsikan hasil pengamatan tanpa mampu merumuskan klaim yang jelas, menggunakan data secara tepat sebagai bukti, serta menjelaskan hubungan kausal antara bukti dan klaim berdasarkan prinsip ilmiah. Kondisi ini menunjukkan perlunya pembelajaran yang secara eksplisit melatih mahasiswa dalam praktik penyusunan penjelasan ilmiah (Novak, 2018). Dibutuhkan pendekatan pembelajaran yang memberi kesempatan kepada mahasiswa untuk memperoleh data empiris dan menyusunnya dalam bentuk penjelasan ilmiah.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu perangkat pembelajaran yang mampu mengarahkan mahasiswa secara sistematis dalam proses penyelidikan ilmiah serta melatih penyusunan penjelasan ilmiah berbasis data. Salah satu perangkat yang digunakan adalah Lembar Kerja (LK), yang berfungsi sebagai panduan pembelajaran untuk membantu mahasiswa mengamati fenomena, mengorganisasi informasi, dan mengonstruksi pemahaman secara bertahap. LK ini kemudian dikembangkan dalam bentuk lembar kerja berbasis inkuiri terbimbing yang disusun sesuai dengan tahapan penyelidikan melalui perancangan eksperimen, pengumpulan data, dan interpretasi hasil dengan panduan terbatas. Pendekatan ini memfasilitasi mahasiswa untuk berperan aktif dalam proses pembelajaran dan terbukti efektif dalam mendukung peningkatan kemampuan berpikir ilmiah dan argumentasi berbasis bukti (Muzainah dkk., 2023).

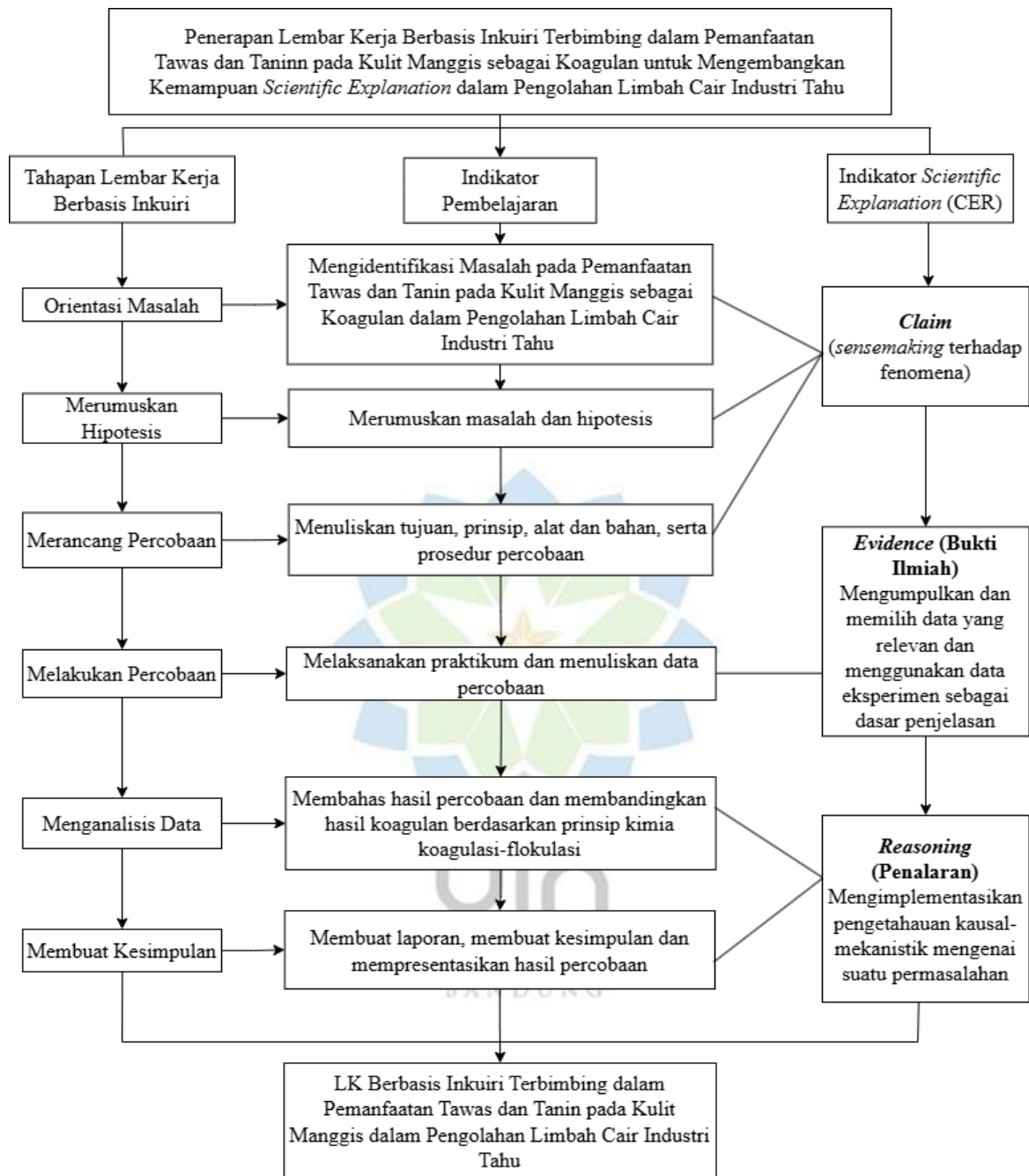
Untuk memberikan konteks penyelidikan yang relevan dalam pembelajaran, penelitian ini memanfaatkan limbah cair industri tahu yang memiliki kadar COD, BOD yang tinggi (Pangestika, 2020). Pengolahan limbah dilakukan melalui koagulasi menggunakan dua jenis koagulan, yaitu tawas sebagai koagulan kimia dan tanin dari kulit manggis sebagai koagulan alami. Tanin telah terbukti efektif

menurunkan parameter polutan dalam berbagai jenis limbah (Lugo dkk., 2020). Perbedaan karakter kedua koagulan memberi peluang bagi mahasiswa untuk membandingkan efektivitasnya secara empiris.

Untuk memandu proses tersebut, dikembangkan Lembar Kerja Berbasis Inkuiri Terbimbing (LKIT) yang mengarahkan mahasiswa mengidentifikasi masalah, merancang percobaan koagulasi, menganalisis perubahan kualitas air, dan menyusun *scientific explanation* berdasarkan data. LKIT mendukung mahasiswa dalam menghasilkan klaim tentang efektivitas koagulan, memilih bukti yang relevan, serta menyusun penalaran yang menghubungkan mekanisme koagulasi dengan data yang diperoleh. Dengan demikian keterkaitan aspek tersebut dan tahapan pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing mencapai tujuan pembelajaran yang tepat.

Berdasarkan pemikiran tersebut, maka kerangka pada penelitian mengenai penerapan LK berbasis inkuiri terbimbing pada pemanfaatan tawas dan tanin pada kulit manggis (*Garcinia Mangostana L.*) sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu dapat dilihat pada Gambar 1.1.





Gambar 1.1 Kerangka Berpikir

F. Hasil Penelitian Terdahulu

Dalam konteks pedagogis, kemampuan *scientific explanation* masih menjadi tantangan dalam pembelajaran sains di perguruan tinggi, khususnya dalam mengintegrasikan pemahaman konseptual dengan bukti empiris secara sistematis. Mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam menghubungkan hasil pengamatan

dengan konsep ilmiah serta menarik kesimpulan yang logis berdasarkan data yang diperoleh. Kondisi ini menunjukkan bahwa pembelajaran sains yang masih bersifat prosedural dan berpusat pada dosen belum sepenuhnya mendukung peningkatan kemampuan berpikir analitis dan berbasis bukti (Novak., 2018).

Upaya peningkatan kemampuan *scientific explanation* telah dilakukan oleh McNeill dan Krajcik (2007) melalui pengembangan kerangka *Claim–Evidence–Reasoning* (CER). Kerangka ini membantu mahasiswa menyusun penjelasan ilmiah secara sistematis, yang meliputi perumusan klaim, penggunaan bukti yang relevan, serta penalaran ilmiah untuk mengaitkan bukti dengan klaim. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan kerangka CER secara eksplisit dapat meningkatkan kualitas penjelasan ilmiah mahasiswa.

Namun demikian, penerapan kerangka CER memerlukan dukungan pembelajaran yang terstruktur agar mahasiswa mampu menerapkannya secara konsisten. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang melibatkan mahasiswa secara aktif dalam proses penyelidikan ilmiah, seperti mengamati fenomena, mengumpulkan dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti. Salah satu bentuk dukungan pembelajaran yang sesuai adalah penggunaan lembar kerja berbasis inkuiri terbimbing, yang membantu mahasiswa menyusun klaim, memilih bukti, dan menjelaskan hubungan antara bukti dan konsep ilmiah secara lebih terarah.

Sejalan dengan kebutuhan tersebut, Saija dkk. (2020) menemukan bahwa penggunaan lembar kerja berbasis inkuiri terbimbing mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan kemampuan analisis mahasiswa secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skor rata-rata pemahaman konseptual mahasiswa pada kelas yang menggunakan lembar kerja berbasis inkuiri terbimbing mencapai 74,09, sedangkan kelas yang menggunakan pembelajaran tradisional hanya mencapai 65,73, sehingga terjadi peningkatan sebesar 8,36 poin atau sekitar 12,7%. Melalui tahapan penyelidikan yang terarah, mahasiswa dilatih untuk mengamati fenomena, menginterpretasikan data, serta menarik kesimpulan berdasarkan bukti yang relevan. Selain peningkatan pemahaman konsep, pendekatan ini juga meningkatkan keterlibatan aktif mahasiswa dan motivasi

belajar, yang berkontribusi langsung terhadap peningkatan kemampuan *scientific explanation*, khususnya dalam mengaitkan data eksperimen dengan konsep ilmiah secara logis. Selain itu, pendekatan ini juga membantu mahasiswa mengatasi kesulitan representasional serta meningkatkan motivasi belajar dalam pembelajaran sains.

Penerapan pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing menjadi semakin relevan ketika dikaitkan dengan konteks permasalahan nyata, salah satunya pada topik pengolahan limbah cair industri. Dalam satu dekade terakhir, berbagai penelitian menunjukkan bahwa koagulan alami berkembang sebagai alternatif potensial pengganti koagulan kimia. Tanin dilaporkan efektif dalam menurunkan kekeruhan, warna limbah hingga lebih dari 80–90%, serta menurunkan COD secara signifikan, dengan keunggulan bekerja pada rentang pH yang luas dan menghasilkan volume lumpur yang lebih sedikit dibandingkan koagulan berbasis logam. dan COD (Leiviskä, 2023). Temuan ini diperkuat oleh penelitian yang menunjukkan bahwa tanin memiliki efektivitas penurunan COD dan TSS sebesar 70-85% yang sebanding dengan *polyaluminium chloride* (PAC) dalam menurunkan parameter pencemar, namun lebih stabil terhadap perubahan pH dan menghasilkan lumpur yang lebih mudah ditangani (Justina dkk., 2018). Selain itu, koagulan alami seperti *Moringa oleifera* dan chitosan dilaporkan mampu menurunkan TSS, COD, dan kekeruhan hingga lebih dari 75%, dengan efisiensi yang kompetitif dibandingkan koagulan kimia, tanpa meninggalkan residu logam berbahaya (Jagaba dkk., 2020). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa protein kationik dari biji *Moringa* efektif mengikat partikel, ion logam, dan zat warna melalui mekanisme koagulasi-flokulasi alami, sehingga memperkuat potensi koagulan nabati sebagai teknologi pengolahan air yang berkelanjutan (Oyama dkk., 2023).

Kajian mengenai koagulan tersebut relevan dengan karakteristik limbah cair industri pangan yang umumnya memiliki kandungan organik, kekeruhan, dan TSS tinggi, sehingga memerlukan proses koagulasi-flokulasi sebagai tahapan awal pengolahan. Limbah industri susu, dilaporkan memiliki nilai COD dan TSS yang sangat tinggi sehingga tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan pendahuluan (Justina dkk., 2018). Temuan serupa juga dilaporkan pada

limbah POME yang dikategorikan sebagai limbah berat akibat tingginya kandungan minyak dan bahan organik, sehingga proses koagulasi menjadi tahapan utama dalam menurunkan beban pencemar sebelum pengolahan lanjutan (Jagaba dkk., 2020).

Dalam konteks limbah cair industri tahu, permasalahan pencemaran masih banyak ditemukan, terutama pada industri skala kecil yang membuang limbah cair secara langsung ke badan air tanpa proses pengolahan terlebih dahulu. Praktik tersebut menyebabkan air sungai menjadi keruh, berbau, dan berpotensi merusak ekosistem perairan akibat tingginya beban pencemar organik (Pangestika, 2020). Limbah cair tahu umumnya memiliki karakteristik COD sebesar 7771,3 mg/L, BOD 2547,5 mg/L, dan TSS 840,5 mg/L, yang menunjukkan potensi pencemaran lingkungan yang sangat tinggi apabila tidak dilakukan pengolahan awal. Tanpa proses koagulasi maupun pengolahan pendahuluan lainnya, limbah cair tahu dapat memicu eutrofikasi, mengganggu kesehatan masyarakat, serta menurunkan kualitas lingkungan perairan, sehingga pemanfaatan tawas dan koagulan alami seperti tanin menjadi relevan sebagai upaya penurunan beban pencemar sebelum limbah dibuang ke lingkungan (Pangestika, 2020).

