

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tahu merupakan salah satu subsektor agroindustri yang menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar karena konsumsi air yang tinggi pada tahapan pencucian, perendaman, dan pengepresan kedelai (Simanjutak et al., 2022). Limbah cair industri tahu umumnya mengandung bahan organik yang tinggi sehingga dapat berdampak negatif terhadap kualitas air dan lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu (Simanjutak et al., 2022). Hal ini terlihat dari konsentrasi parameter pencemar seperti COD, BOD, TSS, dan pH dalam limbah tahu yang umumnya melebihi ambang baku mutu badan air (Zalfain et al., 2024)

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter kualitas air yang menyatakan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi seluruh bahan organik dan anorganik tereduksi secara kimiawi dalam suatu sampel air limbah (Metcalf & Eddy, 2014a). Tingginya nilai COD mengindikasikan besarnya kandungan bahan organik sekaligus tingginya potensi pencemaran terhadap badan air penerima, apabila kandungan senyawa organik dan anorganik dalam air limbah cukup besar, oksigen terlarut dapat mencapai nol sehingga tumbuhan air, ikan, dan hewan air lainnya tidak dapat bertahan hidup, Kondisi ini diperkuat oleh hasil studi karakteristik di lapangan, di mana limbah cair tahu diketahui mengandung kadar COD sebesar 7.050 mg/L (Damajanti & Ubaidillah, 2023).

Tingginya beban pencemar tersebut tidak terlepas dari karakteristik bahan baku yang digunakan. Bahan-bahan organik yang terkandung di dalam buangan industri tahu pada umumnya sangat tinggi, berupa protein, karbohidrat, lemak, dan minyak, dengan protein dan lemak sebagai fraksi terbesar (Listyaningrum, 2022). Di sisi lain, kandungan organik yang menjadi sumber tingginya COD tersebut sekaligus merupakan substrat potensial bagi proses pengolahan secara anaerobik. Limbah cair tahu mempunyai kandungan protein, lemak, dan karbohidrat yang masih cukup tinggi, dan apabila senyawa-senyawa organik tersebut diuraikan

secara anaerobik akan menghasilkan gas metana (CH_4), karbondioksida (CO_2), gas-gas lain, dan air (Katjo & Irwansyah, 2018).

Salah satu parameter kunci yang menentukan efisiensi pengolahan anaerobik adalah rasio karbon terhadap nitrogen (C/N). Rasio C/N menggambarkan perbandingan antara kandungan karbon organik total dengan kandungan nitrogen total dalam substrat, yang secara langsung memengaruhi keseimbangan nutrisi bagi komunitas mikroorganisme anaerobik (Mata-alvarez et al., 2014a). Mikroorganisme anaerob membutuhkan karbon sebagai sumber energi sekaligus sebagai kerangka struktural sel, sementara nitrogen berperan dalam sintesis protein, asam amino, dan asam nukleat yang diperlukan untuk pertumbuhan dan reproduksi sel. Secara umum, mikroorganisme anaerob mengonsumsi karbon sekitar 25–30 kali lebih cepat daripada nitrogen, sehingga rasio C/N optimal untuk proses *anaerobic digestion* umumnya berada pada kisaran 20:1 hingga 30:1 (Yadvika et al., 2004).

Limbah cair tahu secara karakteristik merupakan substrat dengan rasio C/N yang relatif rendah karena kandungan nitrogen yang tinggi akibat tingginya fraksi protein kedelai yang terlarut. Berdasarkan studi (Syaichurrozi et al., 2016), limbah cair tahu mengandung rasio COD/N sebesar 270/7 (38,6), yang menunjukkan kondisi nitrogen-kaya (*nitrogen-rich*) yang berada di bawah kisaran optimal (Syaichurrozi et al., 2016). Perbedaan nilai C/N ini dipengaruhi oleh variasi proses produksi tahu, jenis koagulan yang digunakan, serta tahapan pencucian dan pengepresan yang menentukan seberapa banyak protein kedelai yang terlarut ke dalam limbah cair (Syaichurrozi et al., 2016).

Pengolahan biologis dengan *anaerobic digestion* merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk menurunkan beban organik pada limbah industri. Salah satu konfigurasi reaktor anaerob yang dikembangkan untuk pengolahan limbah organik adalah *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR). ABR bekerja dengan memaksa aliran limbah melewati beberapa kompartemen bersekat sehingga meningkatkan kontak antara substrat dan komunitas mikroba yang dapat memperbaiki efisiensi degradasi organik (Nisa et al., 2025). Studi terkait penerapan ABR pada limbah tahu menunjukkan bahwa ABR dapat memfasilitasi penurunan

konsentrasi polutan secara efektif dan berpotensi menghasilkan energi melalui biogas (Ningsih et al., 2024a).

Namun, proses anaerobik umumnya mengalami tantangan pada fase awal operasi (*start-up*) karena akumulasi asam lemak volatil dapat menyebabkan penurunan pH yang tidak menguntungkan bagi aktivitas metanogen (yang penting untuk produksi biogas stabil). Untuk mengatasi hal ini, penambahan inokulum yang kaya mikroorganisme anaerob aktif dianggap strategi penting untuk mempercepat stabilisasi sistem serta meningkatkan efisiensi pengolahan (Purboyo & Fahrudin, 2024a). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin banyak volume *starter* kotoran sapi yang digunakan maka pembentukan gas metana semakin cepat dan hasil yang diperoleh semakin maksimal (Mansouri et al., 2026).

Penelitian di Indonesia mengenai *anaerobic digestion* limbah tahu dengan tambahan kotoran ternak (misalnya kotoran sapi) menunjukkan bahwa variasi konsentrasi kotoran sapi memengaruhi perubahan pH, volume biogas, dan produktivitas energi dari limbah (Purboyo & Fahrudin, 2024a). Ini menunjukkan bahwa inokulum dari kotoran dapat berperan penting dalam memperbaiki performa reaktor anaerob. Namun, penelitian yang secara komprehensif mengevaluasi performa ABR dengan tambahan inokulum kotoran sapi pada limbah cair industri tahu masih terbatas, khususnya dalam konteks bersamaan antara penurunan COD, stabilitas proses, dan produksi biogas.

Studi yang lebih komprehensif dilakukan oleh (Ningsih et al., 2024b) yang mengevaluasi kinerja ABR berskala pilot dengan teknologi biofilter untuk mengolah limbah cair industri tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biofilter dalam ABR secara signifikan memperpendek waktu aklimasi dan meningkatkan kualitas biogas yang dihasilkan. Selama tahap aklimatisasi, reaktor ABR-biofilter mampu menghasilkan total biogas sebesar 1.806,41 L dengan efisiensi penyisihan COD mencapai 95%. Komposisi biogas yang diperoleh terdiri atas CH₄ 58,05%, CO₂ 38,23%, dan N₂ 3,2%.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair industri tahu melalui penambahan inokulum kotoran sapi, sekaligus

mengkaji hubungan antara penambahan inokulum tersebut dengan potensi produksi metana yang dihasilkan selama proses pengolahan anaerob. Selain itu, penelitian ini juga menelaah keterkaitan antara efisiensi penurunan COD hingga memenuhi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014, bagi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Kedelai yakni sebesar 300 mg/L dan potensi produksi metana sebagai indikator tingkat konversi bahan organik menjadi energi biogas. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai efektivitas penggunaan inokulum kotoran sapi dalam meningkatkan kinerja ABR, baik dari aspek pengolahan limbah maupun produksi energi terbarukan dan memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi penerapan teknologi ini di industri tahu skala kecil dan menengah di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan konsentrasi inokulum kotoran sapi terhadap fase *start-up* pada *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR)?
2. Bagaimana kinerja *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dengan penambahan inokulum kotoran sapi dan variasi waktu kontak dalam menurunkan kadar COD limbah cair industri tahu?
3. Apakah penambahan konsentrasi inokulum kotoran sapi dapat meningkatkan potensi produksi metana pada pengolahan limbah cair tahu menggunakan ABR?
4. Bagaimana keterkaitan penurunan COD dengan potensi produksi metana?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini Adalah:

1. Menganalisis pengaruh penambahan konsentrasi inokulum kotoran sapi terhadap fase *start-up* pada *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR).
2. Menganalisis kinerja *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dalam menurunkan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair industri tahu dengan penambahan inokulum kotoran sapi.

3. Menganalisis hubungan antara penambahan konsentrasi inokulum kotoran sapi dengan potensi produksi metana yang dihasilkan selama proses pengolahan.
4. Menganalisis keterkaitan antara efisiensi penurunan COD dan potensi produksi metana sebagai indikator konversi bahan organik menjadi energi.

1.4 Manfaat

Dengan tercapainya tujuan penelitian tersebut, hasil yang diperoleh diharapkan mampu memperkaya khazanah keilmuan di bidang rekayasa lingkungan sekaligus menawarkan solusi aplikatif yang relevan terhadap permasalahan pengolahan limbah cair industri tahu, sehingga manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari aspek teoritis maupun praktis.

1.4.1 Manfaat Teoritis

1. Kontribusi terhadap pengembangan ilmu rekayasa lingkungan, melalui *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) dapat mengetahui evaluasi kinerja reaktor terhadap limbah dengan beban organik tinggi.
2. Menambah literatur mengenai integrasi parameter kualitas limbah dan potensi energi, melalui analisis keterkaitan antara penurunan COD dan produksi biogas sebagai indikator konversi bahan organik menjadi metana.
3. Menjadi referensi ilmiah untuk penelitian lanjutan, khususnya terkait optimasi desain ABR, kinetika reaksi anaerob, serta pemodelan matematis hubungan beban organik terhadap yield metana.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Memberikan alternatif teknologi pengolahan limbah yang aplikatif dan ekonomis bagi industri tahu skala kecil dan menengah.
2. Mendukung penerapan konsep *circular economy* pada industri tahu, melalui pemanfaatan limbah cair tidak hanya sebagai beban pencemar tetapi juga sebagai sumber energi terbarukan dalam bentuk biogas.
3. Mendorong integrasi sektor peternakan dan industri pangan, melalui pemanfaatan kotoran sapi sebagai sumber inokulum, yang secara tidak langsung mendukung sinergi pengelolaan limbah antar sektor.

1.5 Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup pada penelitian ini antara lain:

1. Pengambilan sampel air limbah dilakukan di industri Tahu.
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini, penambahan inokulum berupa kotoran sapi pada proses anaerob.
3. Parameter yang akan diuji pada penelitian meliputi COD dan potensi produksi metana (CH_4) pada air limbah produksi tahu.
4. Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.