

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tahu merupakan salah satu produk olahan kedelai yang menjadi sumber protein nabati dan banyak dikonsumsi masyarakat Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2024, konsumsi tahu di Indonesia mencapai 6,13 kg per kapita. Pada umumnya, industri tahu di Indonesia didominasi oleh usaha kecil dan menengah. Proses produksi tahu masih menggunakan metode tradisional yang terdiri atas penggilingan kedelai, perebusan, penyaringan, penggumpalan, pencetakan, dan pemotongan produk tahu (Maukar dkk., 2019). Proses tersebut menghasilkan limbah padat dan limbah cair dalam jumlah besar (Pagoray dkk., 2021).

Air limbah tahu memiliki kadar COD sebesar 942,32 mg/L – 82.100 mg/L (Sjafruddin & Agustang, 2022; Kim dkk., 2011). Tingginya konsentrasi COD pada air limbah tahu disebabkan oleh kandungan bahan organik seperti protein, karbohidrat, dan lemak yang berasal dari kedelai serta sisa proses produksi. Nilai COD juga dipengaruhi oleh jenis kedelai dan tahapan proses produksi yang membuat karakteristik air limbah tahu bervariasi (Hardyanti dkk., 2023). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (Permen LH) RI No. 5 Tahun 2014, air limbah tahu perlu diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan dan badan air (Cahyani dkk., 2024).

Pengolahan air limbah tahu di Indonesia umumnya dilakukan menggunakan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berbasis proses biologis, seperti unit ekualisasi, netralisasi, sedimentasi awal, biofilter anaerobik, dan reservoir. Sistem tersebut mampu menyisihkan COD hingga 94,9% (Sholihah dkk., 2025). Pengolahan air limbah tahu juga dapat dilakukan dengan *trickling filter* dan *rotating biological contractor* (RBC). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fahyra dkk. (2022), pengolahan air limbah menggunakan *trickling filter* mampu menyisihkan COD hingga 78,79%. Penelitian yang dilakukan oleh Septriani dkk. (2021) mengatakan bahwa pengolahan air limbah menggunakan RBC mampu menyisihkan COD hingga 98,53%. Meskipun kedua pengolahan tersebut mampu

menyisihkan COD dengan baik, pengolahan tersebut masih memiliki kekurangan. Pengolahan dengan *trickling filter* rentan mengalami penyumbatan, menimbulkan bau, serta memerlukan *backwashing* secara berkala sehingga biaya operasi meningkat. Pengolahan menggunakan RBC memerlukan waktu *start-up* yang relatif lama dan rentan mengalami kerusakan pada komponen mekanis (Abdelfattah dkk., 2020). Selain metode tersebut, pengolahan secara anaerobik seperti *anaerobic digester* dapat menghasilkan energi dalam bentuk biogas, tetapi memiliki keterbatasan berupa waktu *start-up* yang relatif lama (Wu dkk., 2025) serta ketidakstabilan proses (Li dkk., 2018).

MFC merupakan salah satu teknologi bioelektrokimia yang juga memanfaatkan proses biodegradasi anaerob. Berbeda dengan *anaerobic digester* yang menghasilkan biogas, MFC menghasilkan energi dalam bentuk listrik melalui transfer elektron ke elektroda. Tingginya kandungan bahan organik pada air limbah tahu menjadikan limbah tersebut berpotensi diolah menggunakan *Microbial Fuel Cell* (MFC) sebagai pengolahan awal maupun pengolahan sekunder untuk menurunkan beban organik sekaligus menghasilkan energi listrik. Oleh karena itu, MFC menjadi salah satu teknologi yang berpotensi diterapkan dalam pengolahan air limbah tahu. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan teknologi yang memanfaatkan substrat organik sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik melalui integrasi proses mikrobiologi dan elektrokimia. Pada sistem MFC, bahan organik diuraikan oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan elektron yang dialirkan ke elektroda untuk menghasilkan arus listrik. Mikroorganisme, khususnya bakteri elektrogenik, mampu menghasilkan arus listrik melalui proses transfer elektron dari substrat organik ke elektroda (Hossain dkk., 2025).

Mikroorganisme dalam sistem MFC dapat berasal dari berbagai sumber yang mengandung bakteri elektrogenik, seperti lumpur aktif anaerob dan lumpur instalasi pengolahan air limbah (Cao dkk., 2019). Lumpur tinja merupakan salah satu limbah organik yang tersedia dalam jumlah melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber inokulum dalam sistem MFC. Pada penelitian ini, lumpur tinja digunakan sebagai sumber inokulum karena mengandung mikroorganisme yang mampu mendegradasi bahan organik dan mentransfer

elektron ke elektroda, sehingga menghasilkan energi listrik (Norbertine dkk., 2025). Rasio air limbah tahu terhadap lumpur tinja mampu memengaruhi hasil penyisihan kandungan organik (Yesa, 2025). Penelitian yang dilakukan oleh Behera & Ghangrekar (2009) menunjukkan bahwa rasio 0,25 kg COD/kg VSS – 1,25 kg COD/kg VSS menghasilkan kinerja MFC yang optimal dalam penyisihan bahan organik dan produksi listrik, berdasarkan penelitian tersebut didapatkan MFC mampu menyisihkan COD hingga 61,9% dengan *power density* tertinggi 843,5 mW/m². Rentang F/M tersebut menunjukkan bahwa ketersediaan substrat yang sesuai dapat mendukung aktivitas mikroorganisme elektrogenik dalam mendegradasi bahan organik dan melakukan transfer elektron pada elektroda, sehingga berpengaruh terhadap penyisihan bahan organik dan produksi energi listrik. Kemampuan MFC dalam menyisihkan bahan organik sekaligus menghasilkan energi listrik menunjukkan potensinya sebagai alternatif teknologi pengolahan air limbah. Oleh karena itu, MFC berpotensi digunakan sebagai teknologi yang mampu menurunkan beban organik sekaligus menghasilkan energi listrik (Hossain dkk., 2025).

MFC *dual chamber* merupakan sistem memisahkan ruang anoda dan katoda menggunakan membran atau jembatan garam (Dewi dkk., 2020). Kinerja MFC dipengaruhi oleh pemilihan material elektroda dan membran (Hossain dkk., 2025). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis elektroda yang berbeda menghasilkan kinerja yang bervariasi dalam pengolahan air limbah tahu. Satar & Permadani (2020) melaporkan penyisihan COD sebesar 60% dengan *power density* 110,80 mW/m² menggunakan elektroda *graphite foam*, sedangkan Purwono dkk. (2015) memperoleh penyisihan COD sebesar 10% menggunakan elektroda karbon. Sementara itu, Yesa (2025) mendapatkan penyisihan COD sebesar 73,49% dengan *power density* 38,82 mW/m² menggunakan elektroda karbon grafit dan lumpur tinja dengan rasio 5:1. Penelitian lain juga dilakukan menggunakan *carbon brush* sebagai elektroda dan didapatkan penyisihan COD hingga 68,3% dan *power density* 370 mW/m² (Bird dkk., 2022). Perbedaan penyisihan COD dan *power density* tersebut menunjukkan bahwa kinerja MFC dipengaruhi oleh jenis elektroda dan kondisi operasional yang digunakan. Berdasarkan penelitian terdahulu, penggunaan MFC *dual chamber* untuk

pengolahan air limbah tahu telah dilakukan dengan berbagai jenis elektroda dan kondisi operasi. Namun, penelitian yang membandingkan kinerja elektroda *carbon cloth* dan *carbon felt* pada kondisi operasional yang sama serta dikombinasikan dengan variasi rasio penambahan lumpur tinja pada pengolahan air limbah tahu masih terbatas.

Pada penelitian ini akan dilakukan penyisihan COD air limbah tahu menggunakan MFC tipe *dual chamber* dengan elektroda *carbon cloth* dan *carbon felt* serta variasi rasio penambahan lumpur tinja. Elektroda berbahan karbon dipilih karena memiliki konduktivitas tinggi, luas permukaan besar, kestabilan kimia baik, dan struktur berpori yang mendukung pembentukan biofilm mikroba elektrogenik (Hartono, 2020; Jinisha dkk., 2020). Elektroda *carbon cloth* dan *carbon felt* dipilih karena sama-sama memiliki konduktivitas listrik dan kestabilan kimia yang baik. Namun, *carbon felt* diperkirakan memiliki kinerja yang lebih baik karena struktur tiga dimensinya memberikan luas permukaan dan porositas yang lebih tinggi sehingga mampu mendukung pembentukan biofilm dan transfer elektron yang lebih efektif (Xuan dkk., 2021). Sebaliknya, *carbon cloth* memiliki resistivitas listrik yang rendah, kekuatan mekanik yang tinggi, biokompatibilitas yang baik, serta stabilitas kimia dan termal yang mendukung proses elektrokimia (Leon dkk., 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Veeramani dkk. (2020) pengolahan MFC menggunakan elektroda *carbon cloth* menghasilkan *power density* sebesar 170 mW/m², sedangkan penelitian Liu dkk. (2020) menggunakan elektroda *carbon felt* menghasilkan *power density* sebesar 208,67 mW/m². Pengolahan MFC menggunakan elektroda *carbon cloth* dan *carbon felt* menghasilkan nilai *power density* yang lebih tinggi dibandingkan penelitian Yesa (2025) yang menggunakan karbon grafit dengan *power density* 38,82 mW/m². Secara teoritis, *carbon felt* diperkirakan menghasilkan penyisihan COD dan energi listrik yang lebih tinggi dibandingkan *carbon cloth* karena memiliki struktur berpori dan luas permukaan yang lebih besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis elektroda serta rasio lumpur tinja terhadap kinerja MFC dalam menyisihkan COD dan menghasilkan energi listrik dari air limbah industri tahu. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya informasi terkait

efisiensi MFC dalam mengolah air limbah dan menawarkan alternatif teknologi pengolahan air limbah yang sekaligus mampu menghasilkan energi.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyisihan COD dari air limbah tahu serta menghasilkan energi listrik dengan metode MFC menggunakan variasi elektroda dan rasio lumpur tinja.

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis efisiensi penyisihan COD dalam air limbah tahu menggunakan proses MFC;
2. Menganalisis besarnya listrik yang dihasilkan dari pengolahan air limbah tahu dengan metode MFC;
3. Menganalisis pengaruh jenis elektroda dan rasio F/M terhadap kinerja MFC.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai alternatif dalam mengurangi pencemaran lingkungan dengan menurunkan kandungan bahan organik air limbah tahu yang mengandung beban organik tinggi;
2. Sebagai alternatif pemanfaatan air limbah tahu yang mampu menghasilkan energi listrik sebagai nilai tambah dalam proses pengolahan limbah;
3. Sebagai inovasi dalam pengembangan teknologi dalam pengolahan air limbah tahu.

1.4 Batasan Masalah

Batasan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Air limbah yang digunakan sebagai substrat adalah air limbah dari industri tahu X Kota Padang yang diambil dari seluruh proses produksi tahu yang ditampung dalam satu wadah sebelum dibuang ke saluran *outlet* dan lumpur yang digunakan sebagai sumber mikroorganisme berasal dari IPLT Kota Padang yang diambil di kolam fakultatif;
2. Variasi elektroda yang digunakan adalah *carbon cloth* dan *carbon felt*;

3. Variasi rasio F/M yang digunakan sebesar 0,75 kg COD/kg VSS dan 1 kg COD/kg VSS;
4. Parameter pada air limbah tahu yang dianalisis adalah COD, BOD, pH, C-Organik, Total Nitrogen, Total Fosfat. Parameter inti yaitu COD dan BOD dengan parameter pendukung C-Organik, Total Nitrogen, Total Fosfat. Parameter pendukung tersebut digunakan untuk mengetahui kecukupan nutrisi mikroorganisme untuk pengoperasian MFC;
5. Parameter pada lumpur tinja yang dianalisis yaitu VSS dan TSS;
6. Kuat arus dan tegangan diukur menggunakan digital multimeter;
7. Pengambilan sampel air limbah tahu dilakukan menggunakan metode *grab sampling* sesuai dengan standar SNI 8990:2021 yang mengatur tentang Metode Pengambilan Contoh Air Limbah;
8. Pengambilan sampel lumpur dilakukan sesuai dengan *sediment sampling guide and methodologies – E.P.A*;
9. Percobaan menggunakan reaktor *batch* dengan sistem *double chamber* berkapasitas 1.500 mL. Reaktor ini dilengkapi dengan separator ion berupa jembatan garam KCl dan dijalankan selama 144 jam periode operasional;
10. Analisis statistik dilakukan dengan analisis deskriptif, uji normalitas, homogenitas, uji beda untuk melihat perbedaan yang signifikan terhadap perbedaan antara variasi jenis elektroda dan rasio penambahan lumpur tinja terhadap penyisihan COD serta energi listrik yang dihasilkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang MFC, air limbah tahu, penyisihan COD, dan teori-teori pendukung lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang lokasi dan waktu penelitian, tahapan penelitian yang dilakukan, studi literatur, persiapan percobaan mencakup alat dan bahan, serta metode analisis laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan.

