

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri kelapa sawit merupakan salah satu sektor strategis yang menopang perekonomian Indonesia. Pada tahun 2023, produksi minyak sawit mentah (CPO) Indonesia mencapai lebih dari 47 juta ton, menjadikan Indonesia tetap sebagai produsen CPO terbesar di dunia. Salah satu isu lingkungan utama dalam industri ini adalah tingginya volume *Palm Oil Mill Effluent* (POME), yaitu air limbah hasil proses sterilisasi, pengempaan, klarifikasi, serta pencucian tandan buah segar (TBS). POME dikategorikan sebagai air limbah organik berbahaya dengan beban pencemar yang sangat tinggi, sehingga memerlukan pengolahan lanjutan sebelum dilepas ke lingkungan.

Beberapa studi terbaru menunjukkan bahwa karakteristik POME mentah secara konsisten memiliki beban pencemar yang sangat tinggi. POME memiliki pH 4,2–4,8 dan suhu awal 70–90°C yang menggambarkan sifatnya yang asam dan panas. Kandungan COD, TSS, dan minyak lemak masing-masing yaitu 50.000–100.000 mg/L, 26.080 mg/L, dan 4.000 mg/L menegaskan bahwa POME sangat kaya akan senyawa organik *biodegradable* (Mohd Yusof dkk., 2023; Sagala dkk., 2023)

Metode pengolahan konvensional seperti kolam anaerobik dan aerobik masih banyak diterapkan, namun memiliki keterbatasan berupa kebutuhan lahan luas, waktu retensi panjang, dan efisiensi penyisihan yang belum selalu memenuhi baku mutu. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi alternatif yang lebih efektif dan berkelanjutan. Salah satu teknologi yang berkembang adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC), yaitu sistem yang memanfaatkan mikroorganisme elektrogenik untuk mendegradasi senyawa organik sekaligus menghasilkan energi listrik. MFC mampu menurunkan COD POME sebesar 45–70% dan menghasilkan daya listrik yang dapat dimanfaatkan kembali (Albarracin-Arias dkk., 2021). Untuk itu, teknologi MFC digunakan sebagai teknologi alternatif untuk mendegradasi zat organik POME yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme sekaligus memproduksi energi listrik yang ramah lingkungan.

MFC memiliki dua konfigurasi utama, yaitu sistem satu ruang (*single chamber*) dan dua ruang (*double chamber*). Sistem *double chamber* memisahkan anoda dan katoda menggunakan separator ion sehingga reaksi oksidasi dan reduksi berlangsung lebih stabil. Kinerja MFC sangat dipengaruhi oleh populasi mikroorganisme elektrogenik dan karakteristik elektroda. Penggunaan lumpur POME sebagai inokulum dipilih karena mengandung konsorsium bakteri elektrogenik *indigenous* yang secara alami telah beradaptasi dengan karakteristik ekstrem POME, seperti pH rendah dan beban organik tinggi. Dibandingkan dengan lumpur tinja yang memerlukan proses aklimatisasi panjang, mikroorganisme dari lumpur POME memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap substrat yang sama, sehingga pendegradasian kandungan senyawa organik pada anoda berlangsung lebih efisien (Yudono dkk., 2022). Variasi rasio penambahan lumpur POME dilakukan untuk mengoptimalkan populasi mikroorganisme elektrogenik di dalam reaktor. Penambahan lumpur sebagai inokulum terbukti meningkatkan penyisihan COD dan *Coulombic Efficiency* (CE) dibandingkan reaktor tanpa inokulasi lumpur, namun pembentukan *biofilm* yang terlalu tebal pada permukaan elektroda anoda dapat meningkatkan hambatan internal dan menurunkan efisiensi transfer elektron (Albarracin-Arias dkk., 2021). Elektroda berbahan karbon, seperti *carbon cloth* dan *carbon felt*, dipilih karena memiliki konduktivitas tinggi, luas permukaan besar, kestabilan kimia baik, serta struktur berpori yang mendukung pembentukan *biofilm* mikroba elektrogenik (Hartono, 2020; Jinisha dkk., 2020). *Carbon felt* memiliki struktur tiga dimensi dengan porositas dan luas permukaan yang lebih besar sehingga berpotensi meningkatkan area transfer elektron, sedangkan *carbon cloth* memiliki struktur anyaman yang lebih rapat dengan konduktivitas yang baik dan hambatan internal yang relatif lebih rendah (Jinisha dkk., 2020).

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa MFC memiliki kelebihan penting dalam pengolahan POME, seperti efisiensi biodegradasi tinggi, kebutuhan lahan yang kecil, serta kemampuan menghasilkan listrik selama proses oksidasi mikroba. MFC umumnya memerlukan waktu retensi hidrolik (HRT) yang lebih singkat karena proses degradasi berlangsung secara langsung melalui aktivitas mikroorganisme elektrogenik pada permukaan elektroda, serta menghasilkan endapan padatan yang lebih sedikit dibandingkan sistem kolam anaerobik konvensional yang cenderung

menghasilkan akumulasi lumpur dalam jumlah besar (Logan dkk., 2019). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem MFC mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 287 mW/m², dengan efisiensi penyisihan COD mencapai 72–76% (Albarracin-Arias dkk., 2021). Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) telah berkembang dari tahap penelitian laboratorium menuju penerapan skala pilot untuk pengolahan air limbah industri, salah satunya pada pengolahan air limbah industri bir (*brewery wastewater*) di Yatala, Queensland, Australia (Santoro dkk., 2017). Selain itu, beberapa perusahaan seperti Cambrian Innovation dan Emefcy juga telah mengembangkan teknologi berbasis MFC untuk pengolahan air limbah industri dan air limbah domestik/perkotaan, menunjukkan semakin berkembangnya potensi penerapan MFC pada sektor pengolahan air limbah.

Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya, sebagian besar studi MFC hanya meninjau satu aspek operasional, seperti jenis elektroda atau penggunaan inokulum, tanpa mengevaluasi jumlah mikroorganisme secara kuantitatif. Penelitian ini memiliki keunggulan dengan mengombinasikan variasi jenis elektroda (*carbon cloth* dan *carbon felt*) serta variasi rasio penambahan lumpur POME sebagai sumber mikroorganisme elektrogenik, sehingga memungkinkan analisis yang lebih komprehensif terhadap hubungan antara karakteristik elektroda, populasi mikroorganisme, pembentukan *biofilm*, dan efisiensi transfer elektron dalam sistem MFC.

Sehingga pada penelitian ini dilakukan penyisihan COD pada POME sebagai substrat dalam sistem MFC tipe *double chamber* dengan variasi elektroda *carbon cloth* dan *carbon felt* sekaligus menghasilkan energi listrik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa informasi tentang kemampuan MFC dan pengembangan sistem pengolahan air limbah yang lebih efisien, inovatif, dan mendukung prinsip ekonomi sirkular.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyisihan COD dari POME serta menghasilkan energi listrik menggunakan teknologi MFC.

Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Menganalisis efisiensi penyisihan COD dalam pengolahan POME menggunakan MFC;
2. menganalisis energi listrik yang dihasilkan akibat penyisihan COD dengan MFC;
3. menganalisis pengaruh variasi elektroda dan perbandingan air limbah dengan mikroorganisme terhadap kinerja MFC.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Sebagai alternatif teknologi pengolahan air limbah industri kelapa sawit yang mampu menghasilkan energi listrik sekaligus meningkatkan kesadaran masyarakat terkait pengelolaan air limbah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan;
2. sebagai pengolahan air limbah yang efektif dalam menurunkan kadar pencemar untuk mengurangi dampak negatif terhadap kualitas lingkungan perairan;
3. sebagai inovasi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang pengolahan air limbah.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Air dan Laboratorium Penelitian Departemen Teknik Lingkungan Universitas Andalas;
2. percobaan dilakukan menggunakan reaktor *batch* sistem *double chamber* yang terbuat dari kompartemen berbahan plastik berkapasitas 2.500 mL dengan separator ion berupa jembatan garam KCl;
3. air limbah yang digunakan sebagai substrat adalah POME yang berasal dari kolam anaerobik II yang merupakan kolam keempat dari rangkaian unit IPAL PT. X, dan sumber mikroorganisme yang digunakan yaitu lumpur POME dari kolam yang sama dengan pengambilan substrat;
4. sampel air limbah diambil sebanyak 6 liter menggunakan metode *grab sampling* sesuai SNI 8990:2021. Sampel lumpur diambil 2 liter berdasarkan *Sediment*

Sampling Guide and Methodologies – EPA, kemudian diaklimatisasi sebelum digunakan.

5. elektroda yang digunakan terdiri dari 2 variasi yaitu *carbon cloth* dan *carbon felt*;
6. parameter yang dianalisis pada POME adalah pH, COD, BOD, C-Organik, Total Nitrogen, dan Total Fosfat;
7. parameter yang dianalisis pada lumpur POME adalah TSS dan VSS;
8. COD, BOD, VSS, TSS, serta *power density* yang dianalisis setelah pengoperasian reaktor MFC.
9. analisis statistik meliputi analisis deskriptif, uji-t untuk menilai signifikansi perbedaan akibat variasi jenis elektroda dan rasio penambahan lumpur POME terhadap penyisihan COD serta energi listrik, serta analisis korelasi untuk menentukan hubungan kedua variabel tersebut dengan kinerja penyisihan COD dan daya yang dihasilkan.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari:

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 industri kelapa sawit, 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, metode analisis laboratorium, dan metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil penelitian disertai dengan pembahasannya.

BAB V PENUTUP

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

