

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pertumbuhan ekonomi global yang berkelanjutan telah mendorong peningkatan konsumsi energi secara signifikan. Kebutuhan energi ini sebagian besar masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, contohnya minyak bumi, gas alam dan batu bara. Namun, ketersediaan energi fosil tidak terbarukan membuat cadangan energi fosil semakin menipis seiring dengan eksploitasi yang masif. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil akan menghasilkan emisi CO₂ dalam jumlah besar yang menjadi kontributor utama terhadap peningkatan efek rumah kaca dan pemanasan global. Kekhawatiran terhadap akumulasi emisi ini menjadi alasan pentingnya mencari alternatif sumber daya alternatif yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu alternatif yang menjanjikan adalah bioetanol (Jamaludin *et al.*, 2023). Badan Energi Internasional (*International Energy Agency*, IEA) melaporkan bahwa penggunaan bioetanol sebagai salah satu bentuk biofuel berpotensi menurunkan emisi karbon hingga 2,1 gigaton per tahun pada 2050 jika produksinya berjalan secara stabil. Hal ini menunjukkan bahwa bioetanol memiliki peran penting dalam menggantikan energi fosil sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari sektor energi. Oleh karena itu, pengembangan teknologi bioetanol telah menjadi prioritas utama dalam mendukung transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Bioetanol memiliki keunggulan lain karena dapat diproduksi dari bahan baku yang melimpah dan dapat diperbarui.

Bahan baku bioetanol dapat berasal dari gula, pati maupun biomassa lignoselulosa. Penggunaan gula dan pati menimbulkan persoalan sosial-ekonomi karena bersaing dengan kebutuhan pangan dan pakan. Sehingga, biomassa lignoselulosa menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan ketersediaannya melimpah dan berasal dari limbah agroindustri (Jamaludin, 2023). Salah satu sumber lignoselulosa potensial adalah limbah industri kelapa sawit, seiring pesatnya perkembangan sektor ini secara global. Produksi minyak sawit dunia telah mencapai lebih dari 70 juta ton per tahun dimana, Indonesia tercatat sebagai produsen utama yang menyumbang sekitar 57% dari total produksi global pada periode 2023/2024, melampaui Malaysia dan Thailand sebagai pesaing terdekat di Asia Tenggara. Selain itu, berdasarkan data dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia, luas lahan kelapa sawit di Indonesia terus bertambah hingga mencapai 16,38 juta hektar pada tahun 2023. Industri kelapa sawit ini menghadirkan persoalan lingkungan yang cukup serius terutama terkait pengelolaan limbah cair yang dihasilkan dari proses pengolahan tandan buah segar, yaitu *Palm Oil Mill Effluent* (POME). (Kementerian Pertanian RI, 2024).

Limbah cair pabrik kelapa sawit (*Palm Oil Mill Effluent*) memiliki kandungan organik yang sangat tinggi. Sehingga POME ini memiliki potensi yang besar jika digunakan sebagai bahan karbon murah untuk fermentasi. Namun, di sisi lain kandungan organik inilah yang menyebabkan POME menjadi pencemar sekaligus apabila tidak dilakukan pengolahan yang benar. Menurut Low *et al.* (2021), kandungan organik *Chemical Oxygen Demand*

(COD) dan *Biological Oxygen Demand* (BOD) yang terdapat pada POME mencapai 100.000 mg/L. Selain itu, Kacaribu *et al* (2025) juga menyatakan bahwa selain tingginya kandungan COD dan BOD, POME juga memiliki kandungan total padatan tersuspensi (TSS) sangat tinggi serta pH asam yang melebihi standar lingkungan yang diizinkan. Hal ini menyebabkan sangat diperlukan pra-pengolahan POME sebelum dilakukan pembuangan agar menjadi lingkungan tetap aman. Selain itu, kandungan inhibitor dalam POME yang cukup tinggi seperti furfural, hidroksimetilfurfural (HMF), asam lemah, dan senyawa fenolik menjadi alasan pentingnya dilakukan pengenceran POME dengan menggunakan akuades dalam produksi bioetanol (Lyu *et al.* 2025),

Dalam biokonversi POME menjadi bioetanol, konsorsium kapang memiliki peran besar dalam proses hidrolisis awal. Kapang mampu menguraikan karbohidrat kompleks menjadi gula sederhana. Produk hasil hidrolisis ini akan digunakan dalam proses fermentasi. Proses fermentasi dilakukan dengan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Pichia sp.* *Saccharomyces cerevisiae* memiliki toleransi tinggi terhadap pH, suhu maupun inhibitor dan merupakan mikroba utama dalam produksi bioetanol, karena mampu mengubah gula menjadi etanol dengan efisiensi tinggi. Sedangkan *Pichia sp.* merupakan khamir yang memiliki kemampuan dalam pemanfaatan berbagai jenis sumber karbon sehingga dapat mendukung proses fermentasi secara sinergis ketika dikombinasikan dengan khamir lain. (Tsegaye *et al.*, 2024).

Penelitian terdahulu telah mengeksplorasi potensi POME sebagai substrat untuk produksi bioetanol. Diamant dan Handajani (2017),

menunjukkan bahwa produksi bioetanol dari POME buatan dengan perlakuan penggantian pH dan konsentrasi COD. Diperoleh hasil optimisasi pH 6,5–7,5 dan COD 15 g/L menghasilkan 3,73 g/L bioetanol dalam waktu 72 jam. Selanjutnya, penelitian Suhendar *et al.* (2023) melakukan mutasi pada isolat bakteri *Bacillus velezensis* penghasil lipase dari POME. Hasilnya, terjadi pengurangan signifikan COD (dari 131.450 ppm menjadi 88.450 ppm) dan O&G (dari 41.400 mg/L menjadi 5.770 mg/L) dalam 72 jam, menandakan potensi kapang/bakteri lipolitik dalam mempersiapkan substrat fermentasi.

Penelitian tentang pemanfaatan POME sudah cukup banyak dieksplorasi, namun penelitian tentang integrasi POME praperlakuan hidrolisis dengan konsorsium kapang serta fermentasi *Saccharomyces cerevisiae* dan *Pichia sp.* masih sangat minim. Oleh karena itu, penelitian ini membuka celah untuk mengembangkan sistem berkonversi yang lebih efisien dan terintegrasi. Dengan demikian, penelitian mengenai produksi bioetanol dari POME melalui hidrolisis menggunakan konsorsium kapang, diikuti fermentasi dan optimasi RSM diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan energi terbarukan yang ramah lingkungan, bernilai ekonomi, serta mendukung mitigasi limbah agroindustri dan residu fosil.

1.2. Rumusan Masalah

- 1.2.1. Bagaimana potensi kapang hasil isolasi dari *sludge* POME dalam mendegradasi selulosa berdasarkan IAE dan gula reduksi?

- 1.2.2. Bagaimana kemampuan konsorsium kapang dalam produksi gula pereduksi yang selanjutnya akan dikonversi ke bioetanol?
- 1.2.3. Bagaimana metode RSM dalam mengoptimalkan parameter konsentrasi substrat, jumlah kapang dan pH agar diperoleh hasil bioetanol yang maksimal?

1.3. Tujuan

- 1.3.1. Mengidentifikasi potensi kapang hasil isolasi *sludge* POME dalam mendegradasi selulosa berdasarkan nilai IAE dan gula reduksi
- 1.3.2. Menguji kemampuan konsorsium kapang dalam memproduksi gula pereduksi yang selanjutnya akan dikonversi ke bioetanol
- 1.3.3. Mengoptimalkan parameter proses (konsentrasi substrat, pH, dan waktu fermentasi) menggunakan metode RSM untuk memperoleh hasil terbaik

1.4. Manfaat

- 1.4.1. Memberikan informasi ilmiah mengenai potensi kapang hasil isolasi dari *sludge* POME sebagai kapang selulolitik berdasarkan nilai IAE dan gula reduksi yang dihasilkan.
- 1.4.2. Memberikan metode alternatif dalam produksi etanol dengan memanfaatkan limbah dan menjadi dasar bagi pengembangan teknologi produksi bioetanol skala industri.
- 1.4.3. Mengurangi pencemaran yang diakibatkan oleh POME dan residu minyak bumi serta mendukung konsep *circular economy*.