

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh tumpahan minyak dan senyawa hidrokarbon saat ini menjadi perhatian serius karena dapat merusak kualitas tanah dan air yang berakibat pada kerusakan ekosistem. Surfaktan sintetis sering digunakan dalam remediasi lingkungan seperti dalam proses *soil washing* dan pembersihan air. Hal ini dikarenakan surfaktan memiliki kemampuan menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan kelarutan polutan minyak yang melekat pada partikel padat, yang memudahkan penghilangannya melalui proses fisik atau biologis (Liu *et al.*, 2021). Akan tetapi, penggunaan surfaktan sintetis dapat menimbulkan dampak negatif, seperti bersifat toksik bagi organisme bioindikator, meninggalkan residu berbahaya di tanah, serta mengganggu struktur dan ekosistem tanah (Silva *et al.*, 2021).

Mengatasi masalah tersebut, biosurfaktan menjadi solusi yang tepat karena sifatnya yang ramah lingkungan dan memiliki toksisitas yang rendah. Selain itu, penggunaan biosurfaktan mendukung proses remediasi berkelanjutan (Ng *et al.*, 2022). Biosurfaktan merupakan surfaktan alami yang dihasilkan oleh mikroorganisme, seperti bakteri, khamir, dan kapang (Tancredi *et al.*, 2025). Khamir menjadi produsen biosurfaktan yang potensial. Biosurfaktan yang diproduksi oleh khamir memiliki beberapa keunggulan dibanding dengan biosurfaktan yang diproduksi oleh bakteri,

seperti memiliki toleransi terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem dan sebagian besar spesies nya berstatus aman digunakan dalam industri pangan maupun farmasi karena termasuk dalam kategori *Generally Recognized As Safe* (GRAS) (Fernandes *et al.*, 2023). Beberapa spesies khamir telah dilaporkan mampu menghasilkan biosurfaktan dengan karakteristik fungsional yang baik, misalnya *Candida bombicola* sebagai penghasil sophorolipid dan *Rhodotorula babjevae* yang mampu mensintesis glikolipid biosurfaktan (Mulligan, 2021) serta *Yarrowia lipolytica* yang dikenal memproduksi mannosylerythritol lipid (MEL) dengan *yield* tinggi (Petra *et al.*, 2024). Biosurfaktan diklasifikasikan menjadi empat kelompok berdasarkan struktur kimianya, yaitu glikolipid, lipopeptida, asam lemak, dan polimer. Setiap kelompok memiliki jenis dan fungsinya masing-masing (Gayathiri *et al.*, 2022).

Biosurfaktan diproduksi secara in-situ oleh mikroorganisme degradasi, sehingga bersifat ramah lingkungan. Sesuai dengan tren keberlanjutan dan regulasi lingkungan, permintaan global terhadap biosurfaktan terus meningkat. Menurut data dari Transparency Market Research, pasar biosurfaktan mencapai USD 3,7 miliar pada tahun 2022 dan diperkirakan mencapai USD 7,5 miliar pada tahun 2031 dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan atau CGAR sebesar 8,2%. Hal ini jelas merupakan peluang besar bagi industri yang menghasilkan biosurfaktan (Yanvarov & Havryliak, 2024). Meskipun permintaan biosurfaktan di pasar global terus meningkat, fakta di lapangan menunjukkan bahwa produksi

biosurfaktan dalam skala besar atau industri masih sulit. Tantangan terbesar yaitu biaya produksi yang tinggi (Marcelino *et al.*, 2019). Biaya produksi biosurfaktan dilaporkan mencapai USD 5,3 per kg, sedangkan biaya produksi surfaktan sintetis sekitar USD 2,2 per kg. Biaya produksi yang tinggi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti bahan baku. Bahan baku yang digunakan seperti glukosa murni dan minyak nabati mempunyai harga yang mahal. Faktor lainnya yaitu produksi biosurfaktan yang menggunakan proses *downstream processing* untuk pemurnian biosurfaktan. Proses tersebut membutuhkan tahap yang panjang dan teknologi yang canggih sehingga biaya yang dibutuhkan juga tinggi (Mulligan, 2021). Tantangan lainnya yaitu *yield* atau biomassa biosurfaktan dari banyak strain mikroba yang telah diuji relatif rendah dan belum stabil jika digunakan dalam skala industri. Sehingga optimasi produksi biosurfaktan untuk menghasilkan *yield* dalam skala besar dengan biaya produksi serendah mungkin sangat diperlukan (Ng *et al.*, 2022).

Penelitian ini menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) sebagai metode statistik untuk menyusun desain eksperimen yang sistematis agar interaksi antar variabel dapat dipelajari secara efektif. Desain eksperimen yang digunakan yaitu *Box-Behnken Design* (BBD) yang mampu mengurangi jumlah percobaan sehingga dapat menekan biaya penelitian. Metode ini telah terbukti efektif dalam optimasi biosurfaktan, salah satunya yaitu pada penelitian yang dilakukan oleh Ozdal *et al.* (2017) yang melaporkan bahwa produksi rhamnolipid oleh *Pseudomonas aeruginosa*

OG1 dapat ditingkatkan secara signifikan melalui optimasi statistik berbasis RSM.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mulligan *et al.* (2014) menjelaskan bahwa biosurfaktan (rhamnolipid dan sophorolipid) dapat diproduksi dari bahan limbah dan terbukti dapat diaplikasikan dalam proses bioremediasi tanah dan air yang terkontaminasi logam. Inovasi terbaru yaitu dengan menggunakan substrat POME sebagai sumber karbon pada produksi biosurfaktan. POME atau *Palm Oil Mill Effluent* merupakan limbah cair hasil pengolahan kelapa sawit. Limbah POME dihasilkan dalam jumlah yang besar, yaitu setiap ton kelapa sawit mampu menghasilkan limbah 0,5 hingga 2,5 m³. POME tidak dapat langsung dibuang melainkan harus melewati proses khusus agar tidak menjadi polutan bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan POME memiliki nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi (Low *et al.*, 2021). Selain POME, *crude oil* juga dapat dimanfaatkan sebagai substrat untuk produksi biosurfaktan. Hal ini dibuktikan oleh penelitian Sumiardi (2021) yang menggunakan *crude oil* sebagai sumber karbon pada produksi biosurfaktan menggunakan *Alteromonas macleodii* Y 18228.

Penelitian lainnya mengenai penggunaan POME atau bahan limbah juga dilakukan oleh Ciurko *et al.* (2022) yang mengeksplorasi pemanfaatan POME sebagai substrat produksi biosurfaktan, namun hasilnya masih terbatas. Pada penelitian tersebut menggunakan strain bakteri *Bacillus subtilis* ATCC 21332 dengan media fermentasi berbasis 50% POME dan

mampu menghasilkan surfactin sebesar 30-35 mg/L. *Yield* yang dihasilkan pada penelitian ini masih rendah dibanding dengan media sintetis. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Asmadi *et al.* (2024) dengan menggunakan strain bakteri *Pseudomonas aeruginosa* RW9 dengan substrat *sludge oil* dari POME juga masih rendah *yield* yang dihasilkan, yaitu mampu menghasilkan rhamnolipid sebesar 1,57 g/L. Hasil ini masih jauh dari target produksi skala industri sehingga masih diperlukan proses optimasi. Pada tahun 2024, Malihah melakukan penelitian biosurfaktan menggunakan khamir unggul dengan substrat POME. Hasilnya menunjukkan bahwa khamir *Pichia pini* dan *Candida quercitrusa* mampu menghasilkan biosurfaktan. Namun, penelitian tersebut belum melakukan optimasi kondisi fermentasi menggunakan metode RSM dan substrat yang digunakan hanya POME. Meskipun sejumlah penelitian telah membahas mengenai optimasi produksi biosurfaktan, namun masih sedikit penelitian mengenai khamir yang digunakan sebagai produsen biosurfaktan serta menggabungkan substrat seperti POME dan *crude oil*. Pemanfaatan POME dan *crude oil* sebagai substrat fermentasi dalam produksi biosurfaktan tidak hanya menjadi solusi untuk menekan biaya produksi, tetapi juga menjadi solusi dalam mengurangi pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah kelapa sawit dan minyak mentah. Hal ini mendukung prinsip *circular economy* melalui pengolahan limbah menjadi produk bernilai tambah dan ramah lingkungan (Ciurko *et al.*, 2022). Oleh karena itu, optimasi produksi biosurfaktan oleh khamir unggul dengan menggunakan

substrat *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dan *crude oil* sangat diperlukan untuk meningkatkan efisiensi produksi dalam skala laboratorium maupun industri. Selain itu, karakterisasi biosurfaktan melalui teknik analisis seperti FTIR dan GC-MS juga penting dilakukan untuk mengetahui jenis senyawa biosurfaktan yang dihasilkan oleh khamir.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik biosurfaktan yang diproduksi dari khamir unggul?
2. Bagaimana potensi POME dan *crude oil* sebagai substrat alternatif dalam produksi biosurfaktan?
3. Bagaimana kondisi optimal (konsentrasi substrat dan waktu inkubasi) yang dapat meningkatkan produksi biosurfaktan oleh khamir?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui karakteristik biosurfaktan yang dihasilkan dari khamir unggul.
2. Mengetahui potensi POME dan *crude oil* sebagai substrat alternatif dalam produksi biosurfaktan.
3. Mengetahui titik optimal parameter fermentasi (konsentrasi substrat dan waktu inkubasi) untuk memaksimalkan produksi biosurfaktan.

1.4. Manfaat

Manfaat penelitian ini yaitu dapat memberikan informasi tentang karakterisasi biosurfaktan yang dihasilkan serta kondisi optimum untuk pertumbuhan dan produktivitas khamir unggul menggunakan metode RSM dengan substrat *Palm Oil Mill Effluent* (POME) dan *crude oil*.