

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan eksplorasi sumber daya alam dan aktivitas industri telah menyebabkan akumulasi polutan organik seperti minyak bumi dan hidrokarbon di lingkungan akuatik dan tanah, yang berdampak negatif pada kesehatan manusia dan stabilitas ekosistem. Salah satu sektor industri yang menjadi andalan dalam perekonomian Indonesia adalah industri kelapa sawit, namun sektor ini menghasilkan limbah cair dalam volume yang sangat besar yang dikenal sebagai *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Setiap industri kelapa sawit di Indonesia rata-rata menghasilkan sekitar 600-700 liter limbah cair kelapa sawit (POME) per ton tandan buah segar (TBS) yang diolah (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2018). Dengan volume produksi TBS nasional mencapai 45,44 juta ton pada tahun 2024, estimasi limbah cair kelapa sawit (POME) yang dihasilkan secara nasional dapat mencapai sekitar 31,8 miliar liter/tahun (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2025).

Limbah POME mengandung senyawa organik kompleks seperti karbohidrat, protein, lipid, dan mineral dalam konsentrasi tinggi, yang apabila tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan melalui peningkatan beban oksidasi biologis, penurunan oksigen terlarut, dan pertumbuhan mikroba pembusuk. Namun demikian, kandungan nutrisi yang kaya tersebut menjadikan POME sebagai sumber potensial bagi pertumbuhan mikroorganisme penghasil metabolit sekunder bernilai tambah, salah satunya adalah biosurfaktan (Baihaqi & Pratama, 2023; Damayana *et al.*, 2024; Nasir *et al.*, 2024; Sari *et al.*, 2020).

Biosurfaktan saat ini menarik perhatian global karena menawarkan alternatif ramah lingkungan dibanding surfaktan sintetis. Molekul amfifilik ini bersifat biodegradabel, tidak toksik, dan mampu menurunkan tegangan permukaan serta menstabilkan emulsi. Lebih dari itu, berbagai studi menunjukkan bahwa biosurfaktan juga memiliki aktivitas antimikroba dan antibiofilm terhadap patogen klinis dan lingkungan (Lourenço *et al.*, 2024; Thakur *et al.*, 2024). Mekanisme

antibakterinya\_antara lain melalui gangguan integritas membran sel yang menyebabkan peningkatan permeabilitas dan kebocoran isi sel seperti protein dan ion (Puyol McKenna *et al.*, 2024).

Pemanfaatan substrat murah dan limbah organik seperti POME dalam produksi biosurfaktan menjadi strategi bioteknologi berkelanjutan yang mendukung konsep *circular bioeconomy*, sekaligus mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Meskipun demikian, penelitian mengenai produksi biosurfaktan dari isolat bakteri POME di Indonesia masih terbatas. Sebagian besar studi hanya berhenti pada tahap skrining aktivitas antibakteri sederhana, sementara penelitian yang melibatkan karakterisasi struktur kimia, analisis molekuler, serta pengujian kombinasi dengan antibiotik konvensional masih jarang dilakukan secara menyeluruh. Padahal, pendekatan yang komprehensif meliputi *skrining* isolat, seleksi isolat aktif, fermentasi & produksi biosurfaktan, uji aktivitas biologis (Uji MIC, difusi cakram, FIC), karakterisasi struktur (FTIR dan LC-MS/MS), serta identifikasi molekuler dan filogenetik diperlukan untuk memahami hubungan antara struktur biosurfaktan dan aktivitas biologisnya.

Sejalan dengan tantangan tersebut, dunia tengah menghadapi krisis resistensi antimikroba (AMR) yang menjadi ancaman serius bagi kesehatan global. Laporan *Global Burden of Disease* 2019, memperkirakan sekitar 1,27 juta kematian secara langsung disebabkan oleh infeksi bakteri resisten antibiotik (Murray *et al.*, 2022). WHO bahkan telah mengkategorikannya sebagai “*silent pandemic*”, karena semakin banyaknya patogen yang tidak lagi responsif terhadap antibiotik konvensional. Kondisi ini menuntut pengembangan agen antimikroba baru dengan mekanisme kerja yang berbeda dari antibiotik konvensional. Dalam konteks ini, biosurfaktan menonjol sebagai kandidat potensial karena mampu menonaktifkan mikroba melalui mekanisme fisik seperti destabilisasi membran sel mikroba dan kebocoran isi sel (*leakage*) yang secara fundamental berbeda dari mekanisme antibiotik konvensional.

Lebih lanjut, meningkatnya prevalensi infeksi kulit akibat bakteri patogen seperti *Staphylococcus aureus* dan *Cutibacterium acnes* juga menjadi isu penting di bidang biomedis dan dermatologi. Patogen tersebut menunjukkan peningkatan

resistensi terhadap antibiotik topikal konvensional seperti tetrasiklin yang selama ini banyak digunakan dalam terapi jerawat dan infeksi kulit superfisial (Khorvash *et al.*, 2012; Legiawati *et al.*, 2023). Resistensi ini menurunkan efektivitas terapi, meningkatkan risiko kekambuhan, dan mendorong kebutuhan akan agen antimikroba yang efektif serta aman bagi kulit. Biosurfaktan alami menjanjikan alternatif sebagai bahan aktif topikal karena kombinasi sifat amfifilik, biokompatibilitas, dan kemampuan mengganggu integritas membran mikroba tanpa menimbulkan toksisitas yang berarti pada sel inang. Beberapa penelitian melaporkan keberhasilan biosurfaktan, khususnya dari genus *Lactobacillus* dan *Bacillus*, dalam menghambat pertumbuhan dan pembentukan biofilm bakteri kulit patogen melalui mekanisme permeabilitas membran dan kebocoran isi sel (Patel *et al.*, 2021; Sambanthamoorthy *et al.*, 2014; Thakur *et al.*, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, eksplorasi biosurfaktan dari sumber limbah seperti POME tidak hanya memiliki nilai ekologis, tetapi juga memiliki relevansi biomedis yang tinggi dalam pengembangan agen antibakteri topikal yang ramah lingkungan dan berpotensi menggantikan antibiotik konvensional. Berdasarkan fenomena tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memproduksi dan mengkarakterisasi biosurfaktan dari isolat bakteri asal limbah cair kelapa sawit, mengidentifikasi sifat kimia dan molekulernya, serta mengevaluasi aktivitas antibakterinya terhadap *Cutibacterium acnes* dan *Staphylococcus aureus*. Melalui pendekatan tersebut, diharapkan penelitian ini dapat berkontribusi terhadap pengembangan agen antibakteri inovatif yang mendukung mitigasi resistensi antibiotik sekaligus mendorong pemanfaatan limbah industri sawit dalam kerangka bioteknologi berkelanjutan.

## 1.2 Rumusan Masalah Penelitian

1. Apakah di antara isolat bakteri limbah cair kelapa sawit (POME) koleksi BRIN terdapat isolat yang mampu menghasilkan biosurfaktan?
2. Bagaimana mengidentifikasi bakteri potensial yang terpilih dari penapisan awal dalam menghasilkan biosurfaktan?
3. Bagaimana aktivitas antibakteri biosurfaktan yang dihasilkan bakteri potensial terhadap *Cutibacterium acnes* dan *Staphylococcus aureus*?
4. Bagaimana profil kimiawi dari biosurfaktan yang dihasilkan oleh isolat bakteri potensial?

## 1.3 Tujuan Penelitian

### 1.3.1 Tujuan Umum

Mengetahui potensi isolat bakteri limbah cair kelapa sawit (POME) koleksi BRIN dalam menghasilkan biosurfaktan yang memiliki aktivitas antibakteri, serta mengkarakterisasi sifat fisikokimia, dan mengidentifikasi identitas molekuler bakteri penghasilnya.

### 1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menyeleksi isolat bakteri limbah cair kelapa sawit (POME) koleksi BRIN untuk mengetahui isolat yang mampu menghasilkan biosurfaktan.
2. Mengidentifikasi bakteri potensial yang terpilih dari penapisan awal dalam menghasilkan biosurfaktan.
3. Mengevaluasi aktivitas antibakteri biosurfaktan yang dihasilkan bakteri potensial terhadap *Cutibacterium acnes* dan *Staphylococcus aureus*.
4. Menganalisis profil kimiawi dari biosurfaktan yang dihasilkan oleh isolat bakteri potensial berdasarkan analisis FTIR dan LC-MS/MS.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi peneliti, penelitian ini memberikan manfaat berupa peningkatan pengetahuan dan keterampilan teknis dalam isolasi dan identifikasi bakteri, produksi serta ekstraksi biosurfaktan, serta pengujian aktivitas antibakteri. Selain itu, penelitian ini melatih kemampuan analisis data eksperimental dan pemahaman terhadap penggunaan teknik molekuler dan instrumentasi analitik dalam penelitian biomedis.
2. Bagi masyarakat, penelitian ini berpotensi memberikan manfaat melalui pengembangan biosurfaktan sebagai sumber antibakteri alami yang dapat diaplikasikan pada bidang kesehatan, farmasi, dan kosmetik. Selain itu, penelitian ini mendukung pemanfaatan limbah cair kelapa sawit (POME) secara bioteknologis, sehingga berkontribusi dalam upaya pengurangan pencemaran lingkungan dan pengembangan produk ramah lingkungan bernilai tambah.
3. Bagi ilmu pengetahuan, penelitian ini memberikan kontribusi dengan menyediakan data empiris mengenai potensi aktivitas antibakteri biosurfaktan yang dihasilkan oleh isolat bakteri dari limbah POME. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian lanjutan dalam bidang mikrobiologi, bioteknologi, dan pengembangan agen antibakteri berbasis sumber hayati.