

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Krisis energi global akibat keterbatasan sumber daya fosil dan meningkatnya emisi gas rumah kaca mendorong pengembangan teknologi energi alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Santoro dkk., 2017). *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu teknologi bioelektrokimia yang menjanjikan karena mampu mengonversi energi kimia dari bahan organik menjadi energi listrik (Logan dkk., 2019). Dalam MFC, berbagai variabel seperti jenis mikroorganisme, konfigurasi sistem, material elektroda, dan cara transfer elektron berpengaruh terhadap performa daya yang dihasilkan, menjadikan MFC sebagai bidang penelitian aktif dalam beberapa tahun terakhir, termasuk inovasi desain dan material untuk meningkatkan efisiensi dan skalabilitasnya (Santoro dkk., 2017).

Microbial Fuel Cell merupakan teknologi bioelektrokimia yang memanfaatkan mikroorganisme sebagai biokatalis untuk menghasilkan listrik melalui reaksi oksidasi substrat organik secara langsung pada elektroda anoda (Xie dkk., 2022a). Teknologi ini menarik perhatian karena mampu menghasilkan energi sekaligus mengolah limbah organik secara simultan, sehingga berpotensi menjadi solusi energi berkelanjutan di masa depan. Prinsip kerja MFC melibatkan transfer elektron hasil metabolisme mikroorganisme ke elektroda anoda, kemudian dialirkan melalui rangkaian eksternal untuk menghasilkan arus listrik. Sistem ini memungkinkan konversi langsung energi biomassa tanpa tahap pembakaran,

sehingga lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi energi konvensional berbasis bahan bakar fosil (Álvarez-Ley dkk., 2025).

Mikroorganisme yang umum digunakan dalam sistem MFC sebagian besar berasal dari kelompok bakteri elektrogenik, seperti *Geobacter*, *Shewanella*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, dan *Rhodospirillum rubrum*. Bakteri-bakteri tersebut mampu menghasilkan elektron dari proses metabolisme dan mentransfernya ke elektroda, baik secara langsung melalui sitokrom membran luar dan struktur konduktif, maupun secara tidak langsung melalui mediator redoks. Walaupun demikian bakteri elektrogenik masih banyak digunakan, yeast seperti *Saccharomyces cerevisiae* mulai menarik perhatian karena mudah dikultivasi, relatif stabil, aman digunakan, dan memiliki kemampuan fermentatif yang baik. Namun, efisiensi transfer elektron pada *S. cerevisiae* masih menjadi keterbatasan utama dibandingkan dengan bakteri elektrogenik alami (Kondrotaitė-Intė dkk., 2025; Verma & Mishra, 2023).

Berbeda dengan *Geobacter* dan *Shewanella* yang memiliki mekanisme transfer elektron ekstraseluler secara alami, *S. cerevisiae* bukan mikroorganisme elektrogenik alami. Oleh karena itu, perpindahan elektron dari sel menuju elektroda cenderung kurang efisien dan sering memerlukan mediator elektron, penambahan enzim, atau modifikasi elektroda untuk meningkatkan keluaran listrik. Hal ini menunjukkan bahwa performa MFC berbasis yeast tidak hanya dipengaruhi oleh material elektroda, tetapi juga oleh kondisi fisiologis dan metabolisme sel.

Metabolisme *S. cerevisiae* dalam MFC dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, seperti oksigen, pH, suhu, nutrisi, serta kondisi fisik di sekitar sel. Penelitian Christwardana, dkk. (2024) menunjukkan bahwa kondisi semi-anaerobik

menghasilkan konstanta laju transfer elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi anaerobik maupun aerobik, yaitu $0,763 \pm 0,013 \text{ s}^{-1}$, sedangkan pada kondisi anaerobik dan aerobik masing-masing sebesar $0,186 \pm 0,053 \text{ s}^{-1}$ dan $0,396 \pm 0,006 \text{ s}^{-1}$. Temuan ini menunjukkan bahwa keseimbangan antara respirasi dan fermentasi dapat mendukung ketersediaan pembawa elektron reduktif sehingga transfer elektron ke elektroda berlangsung lebih optimal.

Selain oksigenasi, cahaya juga dapat menjadi faktor fisik yang memengaruhi fisiologi dan metabolisme mikroorganisme (Hempel dkk., 2021). Pada biofilm *Pseudomonas aeruginosa*, siklus terang-gelap dan perubahan suhu dilaporkan memodulasi aliran elektron metabolik (Kahl dkk., 2022). Respons terhadap cahaya juga ditemukan pada bakteri air tawar *Rhodoluna lacicola* dan *Aquiluna photophilum*, yang menunjukkan perbedaan ekspresi gen antara kondisi terang dan gelap, termasuk gen yang berkaitan dengan metabolisme karbohidrat, penyimpanan energi, dan siklus TCA (Hempel dkk., 2021). Pada bakteri fototrofik, intensitas cahaya juga diketahui memengaruhi laju pertumbuhan, struktur komunitas, dan kandungan fotopigmen (Cerruti dkk., 2022).

Berdasarkan temuan tersebut, cahaya tidak hanya berperan sebagai faktor lingkungan eksternal, tetapi juga berpotensi memodulasi aktivitas metabolik, pertumbuhan, dan aliran elektron mikroorganisme. Oleh karena itu, kajian mengenai pengaruh kondisi gelap-terang terhadap *S. cerevisiae* dalam sistem MFC penting dilakukan dengan tujuan akhir untuk meningkatkan kinerja sistem MFC. Walaupun *S. cerevisiae* bukan mikroorganisme fotosintetik, perubahan pencahayaan tetap dapat dikaji sebagai faktor lingkungan yang mungkin

memengaruhi metabolisme fermentatif, kondisi redoks sel, dan efisiensi transfer elektron dalam sistem bioelektrokimia.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh variasi pencahayaan terhadap metabolisme dan karakteristik elektrokimia *Saccharomyces cerevisiae* dalam sistem MFC. Perlakuan diberikan dalam bentuk variasi durasi cahaya harian selama satu siklus operasi 48 jam, meliputi terang kontinu (0:24), gelap kontinu (24:0), siklus seimbang (12:12), siklus ekstrem (6:18 dan 18:6), meliputi kondisi ambien sebagai kontrol. Variasi ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan lingkungan fisik terhadap aktivitas metabolisme yeast dan performa bioelektrokimia yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan dua pendekatan elektrokimia, yaitu sistem sel setengah (*half-cell*) dan sel penuh (*full-cell*). Sistem sel setengah digunakan untuk mengamati respons elektrokimia *S. cerevisiae* secara spesifik melalui satu elektroda kerja, sehingga dapat mengidentifikasi proses biokimia, karakteristik redoks, dan mekanisme transfer elektron yang terjadi. Analisis pada sistem ini meliputi *cyclic voltammetry*, penentuan *Rate Determining Step* (RDS), perhitungan konstanta laju transfer elektron (k_s), serta pengukuran pH dan kadar alkohol sebagai indikator aktivitas metabolik. Sementara itu, sistem sel penuh merupakan MFC lengkap yang terdiri atas anoda dan katoda. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi performa listrik secara keseluruhan melalui pengukuran tegangan, rapat daya maksimum, polarisasi, serta pembentukan biofilm pada anoda sebagai indikator adaptasi mikroorganisme dalam sistem bioelektrokimia.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis karakteristik elektrokimia *Saccharomyces cerevisiae* dalam sistem *Microbial Fuel Cell* pada variasi durasi gelap-terang harian.
2. Mengevaluasi kinerja *Microbial Fuel Cell* yang menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* sebagai biokatalis pada variasi durasi gelap-terang harian berdasarkan data yang diperoleh.
3. Menentukan hubungan antara variasi durasi gelap-terang harian dengan kinerja *Saccharomyces cerevisiae* sebagai biokatalis dalam sistem *Microbial Fuel Cell*.