

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Krisis energi menjadi permasalahan global yang terjadi sejak abad ke-21, ditandai dengan meningkatnya kebutuhan energi yang tidak sebanding dengan ketersediaan sumber energi konvensional. Menurut *International Energy Agency* (IEA) dalam laporan *World Energy Outlook* pada tahun 2023, lebih dari 80% kebutuhan energi dunia masih bergantung pada bahan bakar fosil yang tidak hanya bersifat tak terbarukan, tetapi juga menjadi sumber utama emisi CO₂ yang berdampak negatif pada lingkungan (IEA, 2023). Sebagai respon terhadap kondisi tersebut, pengembang energi terbarukan menjadi hal yang mendesak untuk dilakukan demi menjamin keberlanjutan pasokan energi. Diantara berbagai sumber energi terbarukan, bioenergi menjadi salah satu solusi yang menjanjikan karena kemampuannya dalam memanfaatkan limbah organik dan biomassa untuk menghasilkan energi (Mignogna dkk., 2024). Salah satu pendekatan inovatif dalam bioenergi adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC), yang memanfaatkan aktivitas metabolisme mikroorganisme untuk mengubah material organik menjadi energi listrik dengan menerapkan konsep *waste to energy* (Pandey dkk., 2024).

Dalam sistem MFC, material organik akan dikonversi oleh mikroorganisme menjadi zat yang lebih sederhana untuk kemudian diubah menjadi energi listrik berdasarkan reaksi oksidasi sumber karbon atau nitrogen. Mikroorganisme pada ruang anoda akan mengoksidasi substrat organik dan melepaskan elektron serta proton. Elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme bakteri kemudian akan

ditransfer dan ditangkap oleh anoda, yang selanjutnya akan ditangkap sebagai energi listrik (Ida & Mandal, 2022). Anoda kemudian berperan penting dalam sistem MFC karena menjadi tempat utama terjadinya transfer elektron dari mikroorganisme menuju elektroda (Rahimnejad, 2023). Oleh sebab itu, kinerja MFC sangat dipengaruhi oleh kemampuan mikroorganisme dalam menghasilkan dan mentransfer elektron. Pemilihan mikroorganisme kemudian menjadi sangat krusial dalam efektivitas kinerja MFC, terutama dalam pengaplikasiannya pada limbah dengan kondisi ekstrem seperti pada salinitas tinggi (Jothinathan dkk., 2018). Untuk kondisi tersebut, maka dibutuhkan jenis bakteri yang mampu hidup pada kondisi hipersalin, seperti bakteri halofilik yang memiliki toleransi tinggi terhadap kadar garam (Vijay dkk., 2023).

Kemampuan bakteri halofilik untuk hidup pada kadar salinitas tinggi disebabkan jalur metabolisme mereka yang memungkinkan untuk memproduksi senyawa osmoprotektan (*compatible solutes*) yang membantu menyeimbangkan tekanan osmotik di dalam sel tanpa mengganggu fungsi seluler (J. Wang dkk., 2023). Kemampuan ini turut menjadi salah satu kelebihan jika dibandingkan dengan sistem MFC yang menggunakan bakteri lain sebagai biokatalis, dimana lingkungan dengan kadar garam tinggi akan menjadi faktor pembatas bagi spesies mikroorganisme lain (X. Li dkk., 2021). Salah satu bakteri halofilik yang dapat ditemukan dengan mudah di Indonesia adalah Bakteri *Bacillus clausii* J1G-0%B yang diisolasi dari tambak garam di Madura (Arum dkk., 2022). Penggunaan bakteri *Bacillus clausii* J1G-0%B sebagai biokatalis pada sistem MFC pertama kali dilakukan oleh Saputra pada tahun 2024. Pada penelitian tersebut dilakukan

optimalisasi kadar garam dalam media pertumbuhan bakteri *Bacillus clausii* J1G-0%B dan diperoleh kadar garam optimum untuk menghasilkan energi listrik adalah 10% NaCl (Saputra, 2024). Meski demikian, masih diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan bakteri *Bacillus clausii* J1G-0%B dalam sistem MFC, terlebih dalam segi nutrisi yang akan berdampak pada pertumbuhan serta metabolisme bakteri dan keterkaitannya dengan peningkatan aktivitas elektrokimia.

Nitrogen merupakan komponen penting yang berperan dalam pembentukan asam amino dan protein yang diperlukan untuk sintesis protein, enzim, replikasi DNA, pertumbuhan sel, dan fungsi sel lain secara menyeluruh sehingga ketersediaannya memberikan pengaruh pada jalur metabolisme dan efisiensi transfer elektron pada bakteri (Zayed dkk., 2023). Tidak hanya itu, ketersediaan nitrogen turut berperan dalam pembentukan biofilm. Kurangnya ketersediaan nitrogen dapat menyebabkan gangguan pada sintesis protein struktural dan enzimatis, sehingga menghambat pembentukan dan kepadatan biofilm pada permukaan anoda yang berdampak pada efisiensi transfer elektron dan performa elektrokimia sistem MFC secara keseluruhan (Elumalai dkk., 2024).

Untuk itu, penelitian ini mengeksplorasi penggunaan tiga jenis sumber nitrogen yang berbeda, yaitu pepton, tripton, dan *Bovine Serum Albumin* (BSA). Dipilihnya ketiga sumber nitrogen didasarkan pada perbedaan karakteristik struktural dan profil asam amino pada masing-masing sumber nitrogen. Pepton yang merupakan produk hidrolisis parsial protein mengandung oligopeptida dan asam amino yang umumnya digunakan dalam media kultur mikroba, sementara tripton adalah hasil hidrolisis kasein yang kaya akan asam amino dapat mendorong

aktivitas metabolisme dan perumbuhan bakteri (Lucero dkk., 2021; Vázquez dkk., 2020). Disisi lain BSA yang merupakan protein murni dari serum sapi dengan struktur lebih kompleks dibandingkan pepton dan tripton (Haggarty, 2002). Dengan melakukan variasi jenis dan konsentrasi sumber nitrogen, dapat diidentifikasi sumber nitrogen yang paling mendukung peningkatan aktivitas elektrokimia *Bacillus clausii* J1G-0%B yang berperan dalam optimalisasi produksi energi listrik dalam sistem MFC.

Potensi ketiga sumber nitrogen dalam mendukung metabolisme dan aktivitas elektrokimia *Bacillus clausii* J1G-0%B kemudian menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem MFC berbasis limbah organik terkhusus limbah industri perikanan. Limbah industri perikanan diketahui mengandung protein dan peptida alami dalam jumlah tinggi serta mengandung garam dengan kadar yang tinggi yang cocok dengan lingkungan bakteri *Bacillus clausii* J1G-%B (Amri dkk., 2024). Dengan memahami bagaimana bakteri merespon sumber nitrogen seperti pepton, tripton, dan BSA memungkinkan memprediksi bagaimana bakteri akan bereaksi terhadap komponen organik kompleks dalam limbah nyata, sehingga MFC dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik sekaligus mendukung pengembangan energi terbarukan berbasis bioelektrokimia yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan guna mengevaluasi pengaruh jenis dan konsentrasi sumber nitrogen terhadap proses metabolisme dan transfer elektron pada bakteri halofilik yang pada akhirnya akan memengaruhi karakteristik elektrokimia dan kinerja MFC menggunakan bakteri

Bacillus clausii J1G-0%B. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium, dengan menggunakan media pertumbuhan bakteri halofilik sebagai substrat yang divariasikan dengan tiga jenis sumber nitrogen, yaitu tripton, pepton dan BSA pada konsentrasi 0,5; 1; dan 2 mg/mL. Metode penelitian mencakup analisis sel setengah dan sel penuh. Analisis sel setengah meliputi analisis *cyclic voltammetry*, analisis *Rate Determining Step* (RDS), analisis konstanta laju transfer elektron (k_s), perubahan pH, dan analisis kadar ammonia. Sementara analisis sel penuh mencakup analisis voltase, analisis rapat daya maksimum, dan analisis biofilm pada anoda.

I.2 Tujuan Penelitian

1. Menentukan karakteristik elektrokimia dari MFC menggunakan bakteri halofilik *Bacillus clausii* J1G-0%B pada jenis dan konsentrasi sumber nitrogen yang berbeda.
2. Memperoleh kinerja MFC menggunakan bakteri halofilik *Bacillus clausii* J1G-0%B pada jenis dan konsentrasi sumber nitrogen yang berbeda.
3. Memperoleh sumber nitrogen dan konsentrasi yang memiliki efek paling optimal terhadap karakteristik dan kinerja MFC dengan bakteri halofilik *Bacillus clausii* J1G-0%B.