



POLA PRODUKSI LISTRIK *Bacillus licheniformis* strain KGE16 AMOBIL PADA SISTEM MICROBIAL FUEL CELL (MFC)

Fazdkia Oktriani Putri¹, Irdawati^{2*}, Siska Alicia Farma³, Fadilaturahmah⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Padang, Indonesia

*Corresponding author E-mail: irdawati.amor40@gmail.com

DOI : <https://doi.org/10.30605/8cvprk22>

Accepted : 10 April 2026 Approved : 21 April 2026 Published : 22 April 2026

Abstract

The increasing demand for environmentally friendly energy has encouraged the development of Microbial Fuel Cell (MFC) technology as an alternative for bioelectricity generation. This study aimed to analyze the electricity production pattern of immobilized *Bacillus licheniformis* strain KGE16 using sodium alginate in an MFC system. A Completely Randomized Design (CRD) was applied with five concentrations of sodium alginate (2%, 3%, 4%, 5%, and 6%) with five replications. Voltage measurements were conducted every 2 hours for 24 hours using a digital multimeter. The data were analyzed descriptively and presented in graphical form. The results showed that electricity production increased gradually from the initial incubation period, reached its peak at the 20th hour, and then declined at the 22nd to 24th hours. The highest voltage was obtained at 5% sodium alginate, while the lowest was observed at 2%. Therefore, sodium alginate concentration influenced the electricity production pattern, with 5% identified as the most optimal condition in the MFC system.

Keywords : *Bacillus licheniformis*, electricity production, immobilization, microbial fuel cell, natrium alginat

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik menuntut pengembangan teknologi energi alternatif yang efisien. Sistem produksi energi konvensional memiliki berbagai keterbatasan, sehingga diperlukan inovasi berbasis pendekatan biologis yang mampu menghasilkan listrik yang ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang berkembang adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC), yang memanfaatkan aktivitas mikroba untuk mengonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui proses bioelektrokimia (Logan *et al.*, 2006).

MFC bekerja berdasarkan kemampuan mikroba dalam mengoksidasi substrat organik dan melepaskan elektron yang kemudian ditransfer ke elektroda anoda (Lovley, 2006). Elektron tersebut mengalir melalui rangkaian eksternal menuju katoda dan menghasilkan arus listrik. Efisiensi sistem ini sangat bergantung pada kemampuan transfer elektron ekstraseluler (Logan, 2009).

Salah satu mikroba yang berpotensi digunakan dalam sistem MFC adalah *Bacillus licheniformis*, bakteri Gram positif yang memiliki kemampuan bioelektrogenik serta ketahanan terhadap kondisi lingkungan ekstrem (Yuliana *et al.*, 2022). Upaya untuk meningkatkan kestabilan pola produksi tegangan listrik dapat dilakukan melalui teknik amobilisasi.

Amobilisasi merupakan metode untuk menahan sel mikroba dalam suatu matriks sehingga tetap aktif secara metabolik, namun tidak bebas bergerak di dalam medium. Teknik ini diketahui mampu meningkatkan stabilitas sel, mempertahankan kepadatan biomassa, serta meningkatkan efisiensi transfer elektron dalam sistem bioelektrokimia (Hassanzadeh *et al.*, 2017). Amobilisasi memungkinkan sel tetap aktif secara metabolik, meningkatkan stabilitas, serta memperbaiki konsistensi produksi listrik (Riwayati *et al.*, 2012).

Salah satu bahan yang umum digunakan dalam proses imobilisasi adalah natrium alginat, karena bersifat biokompatibel, tidak toksik, serta mampu membentuk struktur gel yang stabil melalui reaksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) (Smidsrød & Skjåk-Bræk, 1990). Konsentrasi Na-alginat memengaruhi sifat fisik *beads* yang terbentuk, terutama pada tingkat porositas dan kekompakan matriks, sehingga berpengaruh terhadap difusi substrat dan efisiensi transfer elektron (Hassanzadeh *et al.*, 2017).

al., 2017).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola produksi tegangan listrik *B. licheniformis strain* KGE16 amobil serta menentukan konsentrasi optimum Na-alginat dalam meningkatkan aktivitas bioelektrogenik pada sistem MFC.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Padang. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan konsentrasi Na-alginat (2%, 3%, 4%, 5% dan 6%) masing-masing dengan lima ulangan. Bakteri yang digunakan adalah *Bacillus licheniformis strain* KGE16 yang berasal dari sumber air panas Mudiak Sapan. Kultur bakteri terlebih dahulu diaktivasi dalam medium Thermophilic Minimum Medium (TMM) cair dan diinkubasi pada suhu 60°C selama 24 jam menggunakan shaker incubator dengan kecepatan 150 rpm.

Amobilisasi sel dilakukan menggunakan metode entrapment dengan Na-alginat. Larutan Na-alginat dibuat sesuai konsentrasi perlakuan, kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Suspensi bakteri dicampurkan ke dalam larutan alginat, kemudian diteteskan ke dalam larutan CaCl_2 0,2 M menggunakan syringe steril hingga terbentuk butiran (*beads*). *Beads* yang terbentuk selanjutnya dicuci dengan akuades steril dan disimpan pada suhu 4°C sebelum digunakan. Sistem MFC yang digunakan yaitu tipe *dual chamber* yang terdiri dari ruang anoda dan katoda yang dihubungkan oleh jembatan garam. Kompartemen anoda diisi dengan medium TMM cair dan *beads* bakteri amobil, sedangkan kompartemen katoda diisi dengan akuades. Elektroda yang digunakan adalah plat seng (Zn) sebagai anoda dan tembaga (Cu) sebagai katoda.

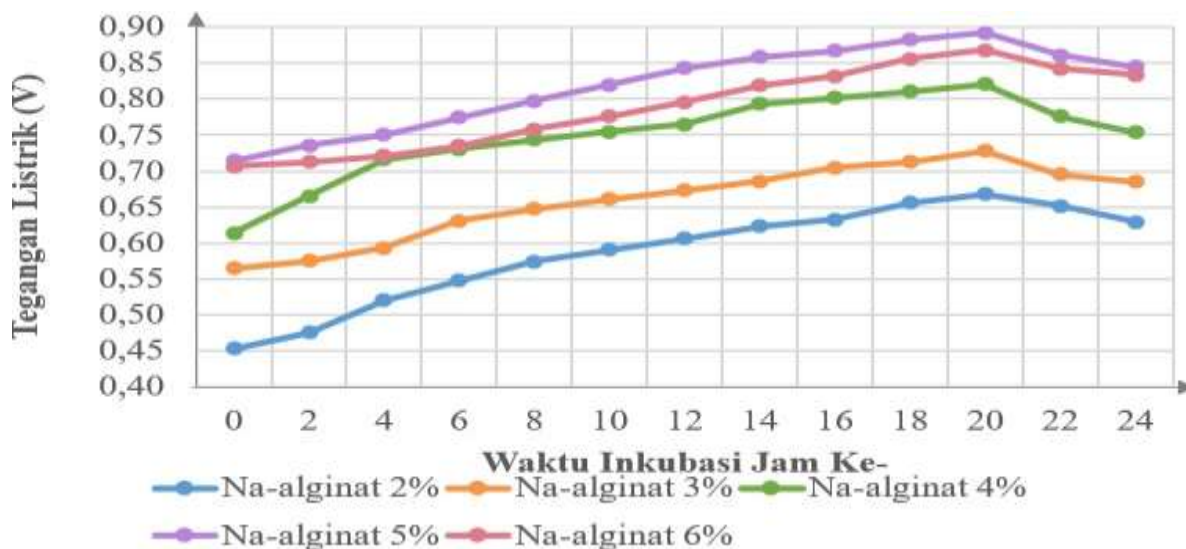
Pengukuran tegangan listrik dilakukan setiap 2 jam selama 24 jam menggunakan multimeter digital. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif menggunakan Microsoft Excel dan disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan pola produksi listrik pada setiap perlakuan secara komprehensif.

HASIL PENELITIAN

Pengamatan terhadap pola produksi listrik yang dihasilkan oleh *B. licheniformis strain* KGE16 dilakukan setiap 2 jam sekali selama 24 jam pada sistem MFC dengan konsentrasi Na-

alginat. Nilai tegangan listrik yang dihasilkan pada setiap interval waktu pengukuran dilihat

pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola produksi listrik variasi konsentrasi Na-alginat

Hasil dari pola produksi tegangan listrik menunjukkan bahwa pola kenaikan tegangan listrik yang stabil. Produksi tegangan listrik tertinggi yaitu pada jam ke- 20 dengan konsentrasi Na-alginat 5% (0,8924 V) dan yang terendah yaitu pada konsentrasi Na-alginat 2% (0,6680 V).

Peningkatan tegangan listrik yang terjadi selama inkubasi berkaitan erat dengan aktivitas metabolisme bakteri dalam mengoksidasi substrat organik pada kompartemen anoda (Singh *et al.*, 2024). Proses oksidasi tersebut menghasilkan elektron yang kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik.

Peningkatan aktivitas metabolisme sel berkontribusi terhadap meningkatnya jumlah elektron yang dihasilkan, sehingga tegangan listrik yang terbentuk juga meningkat (Lovley, 2006). Hal ini sejalan dengan konsep bioelektrogenik yang menyatakan bahwa produksi listrik dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) sangat bergantung pada efisiensi transfer elektron ekstraseluler oleh mikroorganisme (Sulistiyawati *et al.*, 2020). Berdasarkan hasil penelitian, pola produksi energi listrik menunjukkan adanya perubahan selama periode pengamatan. Kemungkinan pola produksi energi listrik iniberkaitan dengan pertumbuhan bakteri. Secara umum, pertumbuhan bakteri berlangsung melalui empat fase utama, yaitu fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian. Tahap awal diawali dengan fase lag sebagai periode adaptasi

terhadap lingkungan, kemudian dilanjutkan dengan fase eksponensial yang ditandai oleh peningkatan jumlah sel secara cepat. Selanjutnya, bakteri memasuki fase stasioner ketika laju pertumbuhan seimbang dengan laju kematian, dan akhirnya mengalami fase kematian yang ditandai dengan penurunan jumlah sel (Madigan *et al.*, 2012).

Pola peningkatan produksi listrik yang relatif stabil pada rentang waktu 14 hingga 20 jam menunjukkan bahwa isolat *B. licheniformis* strain KGEB16 telah memasuki fase eksponensial. Pada fase ini, aktivitas metabolisme berlangsung secara intensif sehingga meningkatkan produksi elektron dan proton yang berkontribusi terhadap pembentukan arus listrik (Zeldes *et al.*, 2015).

Penurunan tegangan listrik yang terjadi pada rentang waktu 22 hingga 24 jam mengindikasikan peralihan menuju fase stasioner. Kondisi ini disebabkan oleh keterbatasan substrat serta akumulasi produk metabolit yang dapat menghambat pertumbuhan sel (Madigan *et al.*, 2012). Dampaknya, aktivitas metabolisme menurun sehingga jumlah elektron yang dihasilkan juga berkurang, yang berujung pada penurunan tegangan listrik (Du *et al.*, 2007).

Penggunaan Na-alginat sebagai matriks amobilisasi memberikan kontribusi positif terhadap kestabilan produksi listrik dalam sistem MFC (Logan *et al.*, 2006). Alginat berfungsi menjaga kestabilan sel, meningkatkan efisiensi transfer elektron, serta memperpanjang masa operasional sistem (Hassanzadeh *et al.*, 2017).

Hal ini sejalan dengan laporan Budiorto (2006) yang menyatakan bahwa sel amobil mampu menghasilkan energi listrik secara lebih stabil dan dapat digunakan kembali.

Konsentrasi Na-alginat sebesar 5% menunjukkan kondisi optimum karena mampu menyeimbangkan jumlah sel dengan ketersediaan substrat serta meningkatkan efisiensi transfer elektron dalam sistem MFC (Mesran *et al.*, 2014). Selain itu, kondisi ini juga mendukung stabilitas mikroba dalam jangka panjang dengan mengurangi risiko fouling pada elektroda dan membran, sehingga produksi tegangan listrik dapat dipertahankan lebih lama (Nafi'ah, 2021).

Selain metode amobilisasi, sumber isolat mikroba juga merupakan faktor penting dalam menentukan keberhasilan sistem MFC. Mikroba dengan kemampuan biolistrik dapat diperoleh tidak hanya dari koleksi laboratorium, tetapi juga dari berbagai lingkungan alami, seperti tanah, air, sedimen, limbah organik, maupun lingkungan ekstrem seperti sumber air panas. Lingkungan tersebut merupakan habitat alami bagi mikroba yang memiliki kemampuan beradaptasi terhadap kondisi ekstrem serta berpotensi menghasilkan elektron melalui aktivitas metaboliknya (Logan, 2009).

SIMPULAN DAN SARAN

Pola produksi listrik *B. licheniformis* strain KGE16 amobil pada sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) selama 24 jam menunjukkan peningkatan bertahap dari awal inkubasi hingga mencapai puncak pada jam ke-20, kemudian mengalami penurunan pada jam ke-22 hingga 24. Konsentrasi Na-alginat 5% menghasilkan tegangan tertinggi dan pola produksi yang paling stabil, sehingga menunjukkan kondisi optimum dalam meningkatkan efisiensi produksi listrik pada sistem MFC.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji kinerja produksi listrik dalam waktu inkubasi yang lebih lama serta mengoptimalkan faktor lain, seperti jenis substrat dan material elektroda. Selain itu, pengembangan penelitian perlu diarahkan pada skala aplikasi industri, khususnya dalam pemanfaatan limbah organik sebagai sumber energi melalui integrasi sistem MFC pada instalasi pengolahan air limbah (IPAL), sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi energi sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan.

DAFTAR RUJUKAN

- Du, Z., Li, H., & Gu, T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: a promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology advances*, 25(5), 464-482.
- Hassanzadeh, M., Bakhshi, M., & Gharibi, D. (2017). Immobilization of microorganisms for biotechnological applications. *Journal of Applied Microbiology*, 123(5), 1278–1290.
- Logan, B. E. (2009). Exoelectrogenic bacteria that power microbial fuel cells. *Nature Reviews Microbiology*, 7(5), 375-381.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schroder, U., Keller, J., Freguia, J., Aelterman, P., Verstraete, W., & Rabaey, K. (2006). *Microbial fuel cells: methodology and technology*. *Environ Sci Technol*. 40:5181–5192.
- Lovley, D. R. (2006). Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches. *Current opinion in biotechnology*, 17(3), 327-332.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., Stahl, D. A., & Clark, D. P. 2012. A brief journey to the microbial world. Brock biology of microorganisms, 13th edition. *Benjamin Cummings*. 25-30.
- Mesran, M, H., Mamat, S., Pang, Y, R., Hong, T, Y., Muneera Z, Ghazali, N, F,Md., Ali, Md, A., & Mahmood, N, A, N., (2014). Preliminary Studies on Immobilized Cells-Based Microbial Fuel Cell System on Its Power Generation Performance. *Journal of Asian Scientific Research* 4(8), 428-435
- Nafiah, N. 2021. Pengaruh Imobilisasi Bakteri Uncultured *Pseudomonas* Sp.Clone 034571 018 Dan *Bacterium* Strain Bs2049 Menggunakan Matriks Karagenan Pada Nilai Elektrisitas Dalam Sistem *Single Chamber Microbial Fuel Cell* Dengan Variasi Penambahan Fe (III). *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Riwayati, I., Hartati, I., & Kurniasari, L. (2012). Teknologi Imobilisasi Sel Mikroorganisme Pada Produksi Enzim Lipase. *In Prosiding Seminar Sains Nasional Dan Teknologi* 1(1).
- Singh, R., Kumar, A., & Sharma, P. (2024). The Critical Role of Salt Bridge in Proton Transfer and Performance of Two-Chamber Microbial Fuel Cells. *Journal of Bioelectrochemistry and Biofuel*, 10(1), 1- 10.

Smidsrød, O., & Skjåk-Bræk, G. (1990). Alginate as immobilization matrix for cells. *Trends in Biotechnology*, 8(3), 71–78.

Sulistiyawati, I., Rahayu, N. L., & Purwitaningrum, F. S. (2020). Produksi biolistrik menggunakan *Microbial Fuel Cell* (MFC) *Lactobacillus bulgaricus* dengan substrat limbah tempe dan tahu. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera: A Scientific Journal*, 37(2), 112–117.

Yuliana, N., Sarkono, Hidayati, E., & Faturrahman. (2022). Isolasi, karakterisasi, dan identifikasi *Bacillus* spp. berasosiasi Abalon (*Haliotis asinina*). *Samota Journal of Biological Sciences* 1(1), 1-10.

Zeldes, B. M., Keller, M. W., Loder, A. J., Straub, C. T., Adams, M. W., & Kelly, R. M. 2015. Extremely Thermophilic Microorganisms as Metabolic Engineering Platforms for Production of Fuels and Industrial Chemicals. *Frontiers in Microbiology*. 6, 1209.