



Biogenerasi Vol 11 No 1, 2025
Biogenerasi: Jurnal Pendidikan Biologi
Universitas Cokroaminoto Palopo
<https://e-journal.my.id/biogenerasi>
e-ISSN 2579-7085



**BIOLISTRIK RAMAH LINGKUNGAN DARI MIKROBA EKSOELEKTROGENS TANAH
PUPUK ORGANIK PADA BERBAGAI PENAMBAHAN AIR**

¹Regina Zahrani Marza, Irdawati, ¹Putri Amelya Ningsih, ¹Muhammad Nazif Zen, ¹Silvi Tamara,
¹Echy Dania Putri, ¹Dinda Aulia Nabila, ¹Intan Feby Nasty

Universitas Negeri Padang, Indonesia

*Corresponding author E-mail: Reginazahranimarza@gmail.com

DOI : 10.30605/biogenerasi.v11i1.8016

Accepted : 10 Januari 2026 Approved : 26 Januari 2026 Published : 27 Januari 2026

Abstract

The increasing demand for electricity has triggered the development of environmentally friendly alternative energy sources. One promising innovative technology is the Microbial Fuel Cell (MFC), which utilizes electroactive microorganisms such as exoelectrogens to generate electricity from organic materials. This research aims to analyze the impact of organic fertilizer soil and the addition of water on bi-electricity production in MFC systems. The experiment was conducted using organic fertilizer soil as a substrate, with parameters such as voltage and power density being measured regularly. The results show that exoelectrogenic microbes can significantly enhance electricity production, with specific treatments (P2 U1) providing the highest stability in electricity generation over 24 hours. The addition of water also positively impacted microbial activity and electron transfer. This study reinforces the potential of organic fertilizer soil-based MFCs as a sustainable and environmentally friendly renewable energy source.

Keywords : Microbial Fuel Cells (MFC), bioelectricity, exoelectrogenic microbes, organic fertilizersoil, renewable energy.

PENDAHULUAN

Energi listrik adalah salah satu sumber energi utama yang dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari manusia. Umumnya, sumber energi listrik berasal dari sumber energi tak terbarukan, seperti bahan bakar fosil (batu bara, gas alam, dan minyak bumi). Energi tak terbarukan ini membutuhkan waktu yang sangat lama untuk terbentuk, dan apabila cadangannya habis, proses pembentukan kembali memakan waktu bertahun-tahun. Oleh karena itu, sangat penting untuk mencari sumber energi alternatif yang dapat diolah menjadi energi listrik (Aini et al., 2024).

Sebagian besar listrik di Indonesia saat ini dihasilkan dari bahan bakar fosil. Penggunaan energi fosil yang terus meningkat mengakibatkan penurunan cadangan minyak serta peningkatan emisi gas rumah kaca. Kenaikan emisi ini berdampak besar, termasuk pada ketidakstabilan iklim yang memicu peningkatan suhu global dan kenaikan permukaan laut (Vestimarta & Irdawati, 2024).

Penggunaan listrik di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil dibandingkan sumber energi lainnya. Dari total kapasitas pembangkit listrik di Indonesia saat ini, pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batu bara memiliki porsi terbesar, yakni 24.883 MW atau 48% dari total kapasitas nasional sebesar 52.231 MW. Di urutan kedua, terdapat pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) berbahan bakar gas dengan kapasitas 11.262 MW atau 22%. Pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang menggunakan bahan bakar solar memiliki kapasitas 5.771 MW atau 11%, sementara pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) dan pembangkit listrik tenaga mesin dan gas (PLTMG) memiliki kapasitas sebesar 3.944 MW atau 8% (Sulistiyawati et al., 2020).

Produksi energi dari limbah organik semakin penting karena produksi energi dari bahan bakar fosil semakin mahal dan berdampak negatif terhadap lingkungan, yang berkontribusi pada perubahan iklim. Sel bahan bakar mikroba (MFC) muncul sebagai teknologi ramah lingkungan alternatif untuk menghasilkan biolistrik langsung dari bahan yang terurai secara alami, seperti asam organik, protein, dan karbohidrat. Namun, ada beberapa tantangan dalam produksi komersial sel-sel ini, seperti biaya konstruksi sel bahan bakar,

masalah skala produksi, serta tantangan dalam meningkatkan kapasitas produksi daya listrik dan kepadatan energi untuk meningkatkan tegangan keluaran (Mulyono et al., 2020).

Individu di alam jarang hidup dalam kondisi terisolasi, termasuk mikroorganisme. Interaksi dengan lingkungan biotik maupun abiotik menjadi syarat penting bagi mikroorganisme untuk mendapatkan energi melalui proses metabolisme. Pada umumnya, bakteri yang berkembang dalam sistem ini, seperti EAB (Electrochemically Active Bacteria), adalah komunitas mikroba yang didominasi oleh eksoelektrogen. Komunitas ini berasosiasi dengan zat polimer ekstraseluler (EPS) dan menempel pada permukaan elektroda dalam sistem BES (Bioelectrochemical System), membentuk struktur yang dikenal sebagai biofilm elektroaktif (Yan et al., 2020).

Tidak semua komunitas mikroba memiliki aktivitas elektrokimia, sehingga penting untuk mengidentifikasi jenis mikroorganisme yang ada pada substrat dan berkontribusi pada pembangkitan biolistrik. Analisis komunitas mikroba yang terlibat dalam MFC (Microbial Fuel Cell) menunjukkan bahwa berbagai macam bakteri memiliki kemampuan untuk melakukan transfer elektron anodofilik, yaitu kemampuan untuk mentransfer elektron ke anoda, Sel bahan bakar mikroba (MFC) dapat menjadi alternatif yang layak untuk mengolah limbah cair (SBWW—sewage and wastewater), dengan mengurangi polutan sekaligus menghasilkan biolistrik. Eksoelektrogen, yang merupakan bakteri aktif elektrokimia, bertindak sebagai biokatalis dalam MFC (Khanaum, 2024).

Mikroorganisme elektroaktif menggunakan jaringan protein redoks dan struktural untuk mentransfer electron antara membran plasma dengan mineral ekstraseluler. Pada beberapa mikroorganisme model, mekanisme dan protein yang terlibat dalam proses ini telah diidentifikasi (Garbini et al., 2023).

Elektron yang diperoleh dari reaksi biologis yang dikatalisis oleh bakteri dapat digunakan dalam Sel Bahan Bakar Mikroba atau MFC untuk menghasilkan energi. Dalam MFC, elektron yang dilepaskan oleh bakteri sebagai akibat dari oksidasi substrat di

kompartemen anoda (juga dikenal sebagai terminal negatif) dipindahkan ke kompartemen katoda (juga dikenal sebagai terminal positif) menggunakan zat konduktif. Pada katoda, elektron digabungkan dengan oksigen membentuk air (Bose et al., 2024).

Teknologi MFC merupakan bentuk baru teknologi terbarukan yang menghilangkan bahan organik, anorganik, dan limbah polutan dan menghasilkan biolistrik. Dalam MFC, ruang anoda dan katoda tetap terhubung oleh membran pertukaran proton/jembatan garam. Kedua ruang ini memiliki elektroda masing-masing yang bergantung pada konduktivitasnya. Mikroorganisme ada di ruang anoda di mana mereka memanfaatkan senyawa organik misalnya glukosa ($C_6H_{12}O_6$) atau substrat lainnya (air limbah) untuk bertindak sebagai donor elektron (e^-). Pemecahan senyawa alami ini menghasilkan elektron dan proton dan elektron diangkut ke katoda melalui sirkuit luar dari anoda, di mana mereka diterima oleh akseptor elektron untuk menghasilkan biolistrik (Saran, 2022).

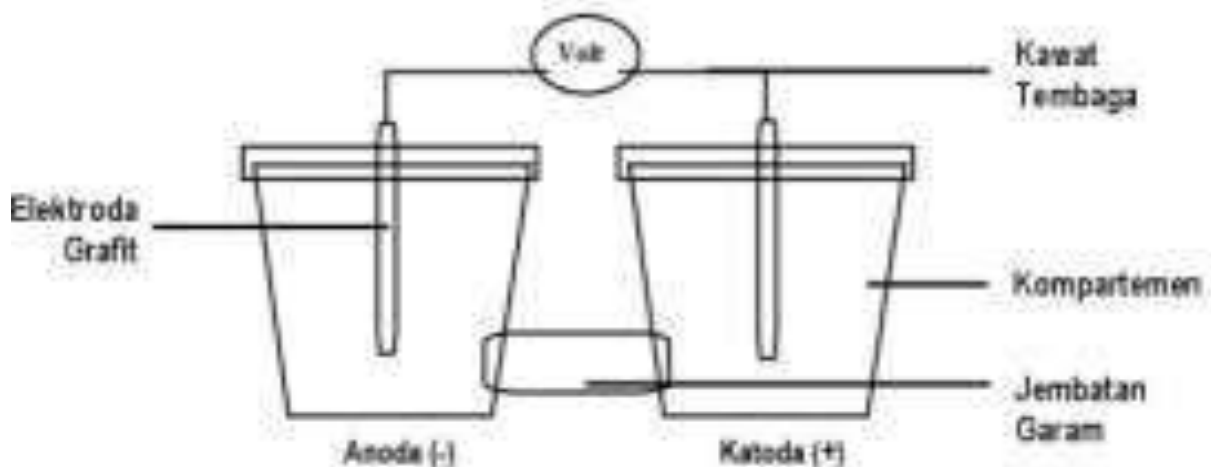
Dalam MFC, mikroorganisme bertindak sebagai katalisator untuk menguraikan substrat, seperti gula dan bahan lain di sekitarnya, dan mengonversi sebagian energi dari molekul tersebut menjadi energi listrik. Pemanfaatan MFC sebagai pusat pembangkit listrik dianggap sebagai metode yang efisien, andal, dan bebas risiko, dengan teknik yang tidak terbatas dan tidak menimbulkan efek samping berbahaya (Dave, 2020). Teknologi ini menawarkan cara yang inovatif dan ramah lingkungan untuk mengatasi polusi di badan

air sambil sekaligus menghasilkan energi secara berkelanjutan (Xu & Li, 2021).

Produksi kepadatan daya yang lebih tinggi oleh MFC dengan memanfaatkan pupuk kotoran hewan (CM) mungkin disebabkan oleh aktivitas mikroba yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan pupuk komersial. Hal ini juga didukung oleh perkembangan dan pertumbuhan transfer elektron yang lebih baik. Selain itu, tegangan dan arus yang dihasilkan dari CM menunjukkan peningkatan seiring waktu. Namun, fenomena ini juga mengindikasikan bahwa pembangkitan listrik melalui proses ini cenderung tidak berkelanjutan dalam jangka Panjang (Sahar et al., 2023).

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada 24 – 25 Desember 2024 di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu: tanah dengan pupuk organik, akuades, air biasa dan elektrolit. Alat yang digunakan yaitu ; *Microbial Fuel Cell* (MFC) setup, alat pengukur tegangan dan arus listrik (multimeter), alat pengukur pH, suhu, dan oksigen terlarut, inkubator, pipet atau gelas ukur untuk penambahan air. Desain kompartemen ganda dapat dilihat pada Gambar 1. Dua buah kompartemen plastik disatukan dengan menggunakan pipa PVC. Pada bagian atas diberi sedikit celah sebagai tempat elektroda grafit dan kawat tembaga, kemudian semua komponen direkatkan dengan lem.



Gambar 1. Desain kompartemen ganda

Tanah pupuk organik yang digunakan ditimbang dengan berat 210 gr dan 315 gr dengan masing masing 1 ulangan. Kemudian tanah di beri air dengan perbandingan 2 tanah : 1 air dan 3 tanah : 1 air. Kemudian tanah dimasukkan kedalam bioreaktor.

Pengukuran Arus

Larutan aquades dimasukkan sebanyak 100 ml ke dalam ruang katoda dan tanah pupuk kedalam ruang anoda Setelah itu, kompartemen dirangkai secara seri dan dihubungkan dengan semua komponen alat (Gambar 2). Selanjutnya, arus dan tegangan diukur setiap 2 jam selama 24 jam.



Gambar 1 Alat pengukuran voltase

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus dan beda potensial dari tanah pupuk organik sebagai substrat dalam sistem MFC.

| No. | Jam Ke- | Perlakuan | | | | | |
|-----|---------|-----------|-------|-----------|-------|-------|-----------|
| | | P1 U1 | P1 U2 | Rata-Rata | P2 U1 | P2 U2 | Rata-Rata |
| 1 | 2 | 448 | 549 | 498.5 | 681 | 781 | 731 |
| 2 | 4 | 415 | 507 | 461 | 671 | 759 | 715 |
| 3 | 6 | 408 | 462 | 435 | 671 | 753 | 712 |
| 4 | 8 | 411 | 469 | 440 | 671 | 754 | 712.5 |
| 5 | 10 | 412 | 453 | 432.5 | 672 | 751 | 711.5 |
| 6 | 12 | 411 | 460 | 435.5 | 675 | 749 | 712 |
| 7 | 14 | 409 | 467 | 438 | 675 | 748 | 711.5 |
| 8 | 16 | 406 | 454 | 430 | 676 | 747 | 711.5 |
| 9 | 18 | 406 | 453 | 429.5 | 679 | 747 | 713 |
| 10 | 20 | 405 | 451 | 428 | 675 | 746 | 710.5 |
| 11 | 22 | 405 | 454 | 429.5 | 671 | 745 | 708 |
| 12 | 24 | 409 | 457 | 433 | 683 | 748 | 715.5 |

Table 1. Nilai Arus Dalam Sistem MFC

Perlakuan P1 U1:

Dimulai dengan voltase tinggi pada jam pertama (448), dan secara bertahap menurun sampai jam ke-12 (409). Penurunan voltase dapat menunjukkan penurunan aktivitas bakteri atau perubahan kondisi lingkungan yang mempengaruhi metabolisme bakteri.

Perlakuan P1 U2:

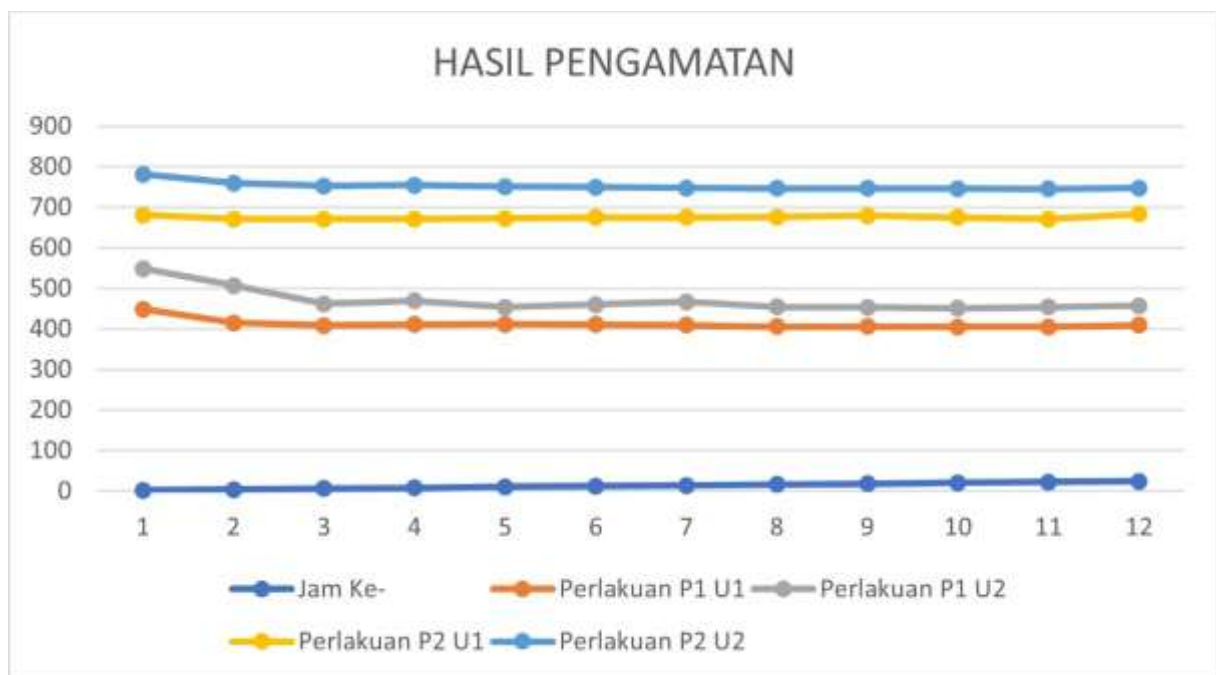
Dimulai dengan voltase lebih tinggi (549 pada jam pertama) dibandingkan P1 U1, tetapi menunjukkan penurunan yang lebih tajam hingga 457 pada jam ke-12. Penurunan voltase ini mungkin menggambarkan penurunan kecepatan metabolisme bakteri atau perubahan dalam respons bakteri terhadap kondisi uji.

Perlakuan P2 U1:

Voltase untuk P2 U1 dimulai pada 681 pada jam pertama dan cenderung lebih stabil, sedikit menurun ke 683 pada jam ke-12. Kestabilan voltase ini menunjukkan bahwa bakteri dalam perlakuan P2 U1 menunjukkan aktivitas metabolisme yang lebih konsisten dan sedikit penurunan.

Perlakuan P2 U2:

Dimulai pada voltase tertinggi (781 pada jam pertama) dan menurun sedikit ke 748 pada jam ke-12. Penurunan voltase ini lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yang menunjukkan bahwa bakteri dalam kondisi P2 U2 mungkin terus berkembang dengan tingkat metabolisme yang lebih stabil. Voltase pada jam ini tetap menunjukkan tren penurunan, dengan P2 U1 dan P2 U2 lebih tinggi dari P1.



Gambar 2. Pola pertumbuhan bakteri berdasarkan arus Listrik dan system MFC

Menunjukkan pola kenaikan dan penurunan nilai arus listrik sesuai dengan pola pertumbuhan bakteri. Perlakuan P2 (baik U1 maupun U2) menunjukkan voltase yang lebih tinggi dibandingkan dengan Perlakuan P1, yang mengindikasikan bahwa bakteri dalam kondisi P2 lebih aktif dalam menghasilkan produk metabolic yang mempengaruhi voltase.

Semua perlakuan menunjukkan penurunan voltase dari jam pertama hingga jam terakhir. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mikroorganisme menghasilkan listrik pada awalnya, mereka akhirnya mencapai titik di mana ketersediaan substrat menurun atau hasil metabolisme mulai terbatas. Penurunan ini mungkin lebih cepat di sistem dengan rasio pupuk organik lebih

rendah (seperti P1) karena kurangnya bahan organik yang dapat diproses oleh mikroorganisme.

Pada system MFC, perbandingan rasio tanah dan pupuk organik seperti yang diuji dalam percobaan, berhubungan langsung dengan perubahan voltase yang tercatat dalam table dan grafik. Pupuk organik bertindak sebagai substrat yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menghasilkan energi dalam bentuk aliran electron yang menghasilkan Listrik.

Jika kita menghubungkan rasio pupuk organik (3:1 dan 2:1) dengan pengamatan voltase, kita bisa menyimpulkan bahwa perbandingan yang lebih tinggi (3:1) cenderung menghasilkan voltase yang lebih

tinggi pada awal pengukuran (Seperti yang terlihat pada perlakuan P2 U1 dan P2 U2), karena lebih banyak bahan organik yang dapat di metabolisme oleh mikroorganisme. Pada sistem MFC, perbandingan rasio tanah dan pupuk organik, seperti yang diuji

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data voltase dari grafik dan tabel, kita dapat menyimpulkan bahwa rasio pupuk organik yang lebih tinggi (3:1) menghasilkan voltase yang lebih tinggi dan lebih stabil, mencerminkan keberhasilan penggunaan pupuk organik dalam meningkatkan produksi listrik dalam sistem MFC. Perlakuan dengan rasio 2:1 cenderung menghasilkan voltase yang lebih rendah, dengan penurunan yang lebih cepat, yang menunjukkan bahwa pupuk organik dalam jumlah lebih sedikit membatasi aktivitas mikroorganisme dan aliran elektron yang dihasilkan.

Perlakuan P2 U1 dan P2 U2 (rasio 3:1) menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam hal kestabilan voltase dibandingkan dengan perlakuan P1 U1 dan P1 U2 (rasio 2:1), yang menunjukkan pentingnya rasio pupuk organik dalam mempengaruhi efisiensi sistem MFC dalam menghasilkan energi listrik. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dengan rasio lebih tinggi dalam sistem MFC dapat menghasilkan lebih banyak energi listrik dan lebih stabil, yang mengindikasikan potensi penggunaan teknologi ini untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan dari bahan organik.

DAFTAR RUJUKAN

Aini, S. D. N., Marlinda, M., & Wahyudi, W. (2024). Pengaruh Variasi Massa Limbah Kulit Pisang Terhadap Produksi Biolistrik Microbial Fuel Cell (MFC). *Jurnal Inovasi Global*, 2(6), 649–658.

Bose, D., Bhattacharya, R., Ganti, P., Rizvi, A., Halder, G., & Sarkar, A. (2024). Bioelectricity production and bioremediation potential of *Withania somnifera* in plant microbial fuel cells. *Energy Nexus*, 15(April), 100314.

Dave, K. (2020). Sistem Bioelektrokimia : Ramah Lingkungan. Garbini, G. L., Caracciolo, A. B., & Grenni, P. (2023). Bakteri Elektroaktif dalam

Ekosistem Alami dan Aplikasinya dalam Sel Bahan Bakar Mikroba untuk Bioremediasi : Tinjauan. Iii Khanaum, M. M. (2024). Menyeimbangkan pH untuk meningkatkan kinerja komunitas bakteri dalam sel bahan bakar mikroba : implikasi untuk pembangkitan biolistrik dan pengurangan polutan. *Machine Translated by Google*. 50(3), 282–292.

Magotra, V. K., Lee, D. J., Kim, D. Y., Lee, S. J., Kang, T. W., Magotra, A., Inamdar, A. I., Shrestha, N. K., Patil, S. A., Thammanu, S., & Jeon, H. C. (2023). Increasing power generation to a single-chamber compost soil urea fuel cell for carbon-neutral bioelectricity generation: A novel approach. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1–13.

Mulyono, T., Misto, Busroni, & Siswanto. (2020). Bioelectricity generation from single-chamber microbial fuel cells with various local soil media and green bean sprouts as nutrient. *International Journal of Renewable Energy Development*, 9(3), 423–429.

Sahar, S. K., Rahman, A., & Kipli, K. (2023). Pengaruh Nutrisi pada Ruang Anoda 14 terhadap Kinerja Mikroba Sel Bahan Bakar (MFC). 80(November), 311–320.

Saran, C. (2022). Sel bahan bakar mikroba: Agen ramah lingkungan dan hijau untuk pengolahan air limbah penyamakan kulit dan pembangkitan listrik/ biolistrik secara bersamaan. 1–35.

Sulistiyawati, I., Laila Rahayu, N., & Septiana Purwitaningrum, F. (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.

Vestimarta, A. W., & Irdawati. (2024). M a s l i q. 4, 359–366.

Xu, J., & Li, T. (2021). Sains Langsung Pembangkitan biolistrik secara simultan dan penghapusan polutan sedimen sel bahan bakar mikroba dikombinasikan dengan makrofitanya yang terendam. *Machine Translated by Google*. 46, 11378–11388.

Yan, X., Lee, H., & Wang, X. (2020). Mikro-niche eksoelektrogen mempengaruhi

pembangkitan biolistrik dalam sistem

bioelektrokimia. 134 (September 2019).