

Potensi Air Lindi TPSA Bagendung Menjadi Sumber Energi Listrik Berbasis Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Ikwan Arudin¹, Muhammad Dikril Zulkarnaen¹, Ranisa Oktaviyanti²

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia;

²Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia;

Email : ikwanarudin6@gmail.com, dikrildikril191@gmail.com,
ranisa1234567@gmail.com

Abstrak : *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan sistem bioelektrokimia yang mengonversi energi kimia dari aktivitas metabolisme mikroorganisme menjadi energi listrik. Proses ini melibatkan reaksi reduksi dan reaksi oksidasi yang berlangsung secara simultan dalam transfer elektron. Air lindi merupakan salah satu limbah yang mengandung senyawa organik *biodegradable* dalam konsentrasi tinggi yang dapat menjadi sumber energi listrik ramah lingkungan melalui teknologi *Microbial Fuel Cell*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *Microbial Fuel Cell* menggunakan air lindi sebagai substrat dengan konfigurasi dua unit reaktor yang dihubungkan secara seri guna menaikkan tegangan *output* sistem. Pengamatan dilakukan selama tiga hari, dan dilakukan pengamatan setiap hari dari pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB dengan interval pengukuran setiap satu jam terhadap parameter tegangan, arus, dan daya listrik. Hasil pengukuran menunjukkan tegangan stabil pada kisaran 1,287–1,439 V dengan rata-rata 1,38 V. Arus tercatat berfluktuasi antara 1,19–1,57 mA dengan rata-rata 1,37 mA, sedangkan daya berada pada rentang 1,52–2,19 mW dengan rata-rata 1,90 mW. Temuan ini mengindikasikan bahwa air lindi dapat digunakan sebagai substrat MFC, meskipun daya yang dihasilkan masih terbatas untuk kebutuhan praktis.

Kata Kunci : *Microbial Fuel Cell*, Air Lindi, Energi Terbarukan, Limbah Cair

Abstract : *Microbial Fuel Cell* (MFC) is a bioelectrochemical system that converts chemical energy derived from microbial metabolic activities into electrical energy. This process involves simultaneous oxidation and reduction reactions during electron transfer. Leachate is a type of wastewater rich in biodegradable organic compounds, which can serve as an environmentally friendly energy source through MFC technology. This study aims to evaluate the performance of a *Microbial Fuel Cell* using leachate as a substrate with a configuration of two reactor units connected in series to increase the system's output voltage. Observations were conducted over a three-day period, with hourly measurements from 08:00 to 17:00 WIB each day, monitoring voltage, current, and power output. The results showed stable voltage in the range of 1.287–1.439 V, with an average of 1.38 V. The current fluctuated between 1.19–1.57 mA, averaging 1.37 mA, while the power output ranged from 1.52–2.19 mW, with an average of 1.90 mW. These findings indicate that leachate can be utilized as an effective substrate for MFC, although the power generated remains limited for practical energy applications.

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2025, Vol. 6, No. 3, pp 1 – 9

Received : 25 September 2025

Accepted : 1 Oktober 2025

Published : 1 Oktober 2025



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2859-5456](#) and e- ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

Keywords : *Microbial Fuel Cell, Leachate, Renewable Energy, Wastewater.*

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi global terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Selama ini, energi fosil masih menjadi sumber utama, namun ketersediaannya semakin menipis dan penggunaannya menimbulkan dampak lingkungan berupa emisi gas rumah kaca [1]. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan, berkelanjutan, serta memanfaatkan potensi sumber daya lokal. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah pemanfaatan limbah organik sebagai bahan baku energi terbarukan.

Indonesia menghadapi permasalahan serius dalam pengelolaan sampah, termasuk di Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung. Peningkatan timbunan sampah menghasilkan air lindi (*leachate*) yang mengandung bahan organik, logam berat, dan senyawa berbahaya [2]. Jika tidak ditangani dengan baik, air lindi dapat mencemari lingkungan sekitar, baik air tanah maupun perairan permukaan. Oleh karena itu, pemanfaatan air lindi tidak hanya penting untuk mengurangi dampak pencemaran, tetapi juga membuka peluang sebagai sumber energi alternatif.

Air lindi mengandung senyawa organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai substrat. Hal ini sejalan dengan konsep *waste to energy*, yaitu pemanfaatan limbah berbahaya menjadi sumber energi terbarukan [3]. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa air lindi dapat digunakan sebagai substrat dalam sistem bioelektrokimia, khususnya *Microbial Fuel Cell* (MFC), untuk menghasilkan energi listrik [4]. Dengan demikian, air lindi berpotensi tidak hanya menjadi masalah lingkungan, tetapi juga sumber energi terbarukan yang bernilai.

Kota Cilegon sebagai salah satu kota industri di Provinsi Banten menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah. Berdasarkan data dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Cilegon, jumlah timbunan sampah di kota ini mencapai sekitar 340 ton per hari, di mana 265 ton per hari di antaranya diproses di TPSA Bagendung yang memiliki luas lahan 8,6 hektare. TPSA Bagendung menjadi fasilitas utama yang menampung sebagian besar sampah dari aktivitas penduduk, mengingat volume terbesar sampah berasal dari rumah tangga, yaitu lebih dari 273 ton per hari [5]. Fakta ini menegaskan bahwa keberadaan TPSA Bagendung sangat strategis dalam sistem pengelolaan sampah Kota Cilegon. Namun, dengan tingginya volume sampah yang masuk setiap hari menimbulkan tantangan baru dalam pengolahan air lindi yang dihasilkan, sehingga pemanfaatannya sebagai sumber energi melalui teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) menjadi salah satu opsi yang perlu diteliti lebih lanjut.

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan sistem bioelektrokimia yang memanfaatkan metabolisme mikroba untuk mengubah energi kimia senyawa organik menjadi energi listrik [6]. Prinsip kerjanya adalah mikroorganisme pada anoda melepaskan elektron hasil metabolisme, yang dialirkan ke katoda melalui rangkaian eksternal, sementara proton berpindah melalui jembatan garam menuju katoda. Pada katoda, oksigen terlarut berfungsi sebagai akseptor elektron sehingga dihasilkan arus listrik [7]. Mekanisme ini memungkinkan pemanfaatan limbah organik, termasuk air lindi, sebagai substrat penghasil energi listrik. Namun, kinerja MFC cenderung menurun seiring waktu akibat keterbatasan suplai substrat dalam sistem tertutup, yang mengurangi aktivitas metabolisme mikroba [8].

Penelitian terdahulu telah membuktikan pemanfaatan MFC dengan berbagai limbah cair, seperti limbah tahu, kulit pisang, dan limbah domestik. Penelitian yang lebih spesifik juga menunjukkan potensi air lindi sebagai substrat MFC, meskipun daya yang dihasilkan masih terbatas. Namun, penelitian menggunakan air lindi dari TPSA Bagendung dengan konfigurasi dua reaktor yang disusun seri belum banyak dilakukan. Dengan demikian, penelitian ini menawarkan pendekatan berbeda dengan menguji potensi konfigurasi seri untuk meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan.

Selain memberikan alternatif sumber energi terbarukan, penelitian ini juga berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan di Kota Cilegon. Pemanfaatan air lindi menjadi energi listrik diharapkan dapat menjadi solusi ganda, yaitu mengurangi potensi pencemaran lingkungan sekaligus mendukung penyediaan energi ramah lingkungan.

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan air lindi dari TPSA Bagendung sebagai substrat dalam sistem MFC. Sebagai upaya meningkatkan tegangan yang dihasilkan, dibuat dua reaktor MFC yang disusun secara seri. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan tegangan listrik yang lebih besar

dibandingkan konfigurasi tunggal, sekaligus menunjukkan potensi pemanfaatan air lindi tidak hanya untuk mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga sebagai alternatif sumber energi terbarukan di masa depan.

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni - Agustus Tahun 2025. Sampel air lindi diambil dari kolam penampungan utama di Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung, Kota Cilegon Banten. Volume sampel yang digunakan adalah 20 liter. Pengujian *output* energi listrik dilakukan di Laboratorium Dasar Elektro, Program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penelitian ini adalah eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis potensi listrik yang dihasilkan dari reaktor *Microbial Fuel Cell* menggunakan air lindi sebagai substrat.

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Reaktor *Microbial Fuel Cell*, Multimeter Digital Sanwa CD800a, Kabel NYAF 1.5 mm, Timbangan Digital, Kertas pH, Termometer, Air pump Amara AA350, Peralatan gelas laboratorium. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Aquades, KCL, Serbuk agar, Elektroda karbon batang panjang 10 cm diameter 0,8 cm, Elektroda *stainless steel*, Air lindi, EM4.

Preparasi Air Lindi

Air lindi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari TPSA Bagendung, Kota Cilegon, Banten. Sampel air lindi dikumpulkan secara langsung menggunakan wadah polipropilena bersih dan tertutup rapat kemudian didiamkan selama 1×24 jam pada suhu ruang 27-30 °C dan dibiarkan dalam kondisi alami untuk mempertahankan mikroba yang terkandung didalamnya.

Preparasi Elektroda

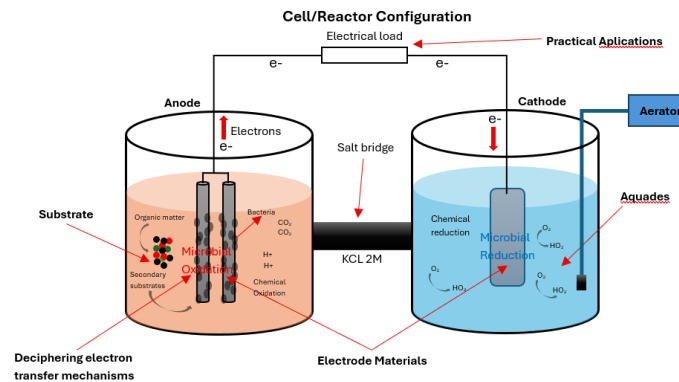
Elektroda karbon batang (ruang anoda) direndam menggunakan larutan KCL 1 M selama 5 jam, kemudian dicuci dengan aquades sampai saat akan digunakan. Elektroda *stainless steel* (ruang katoda) direndam dengan aquades selama 5 jam sampai saat akan digunakan.

Preparasi Jembatan Garam

Pada reaktor 1, digunakan pipa PVC dengan panjang 10 cm, volume 174,51 ml, larutan KCL 2 M sebanyak 174,51 ml ditambah dengan 8 g serbuk agar. Pada reaktor 2, digunakan pipa PVC dengan panjang 8,7 cm, volume 53,56 ml, larutan KCL 2 M sebanyak 53,56 ml ditambahkan dengan 4 g serbuk agar. Larutan kemudian dipanaskan dengan suhu 75 - 80 °C. Pengadukan dilakukan secara kontinu hingga mencapai tingkat kekentalan tertentu, kemudian campuran dimasukkan ke pipa untuk proses pendinginan.

Perancangan Sistem

Reaktor MFC yang digunakan terdiri dari dua unit dengan kapasitas masing-masing 10.000 mL dan 5.000 mL yang dihubungkan secara seri untuk meningkatkan tegangan keluaran sistem. Setiap ruang katoda dilengkapi dengan aerasi. Reaktor 1 dengan kapasitas 10.000 mL, kompartemen anoda diisi air lindi sebanyak 6.000 mL yang telah diproses sebelumnya dengan suhu 27°C dan pH 7. Kompartemen katoda diisi dengan 6.000 mL Aquades pada suhu awal 28°C dan pH 4. Pada reaktor 2 dengan kapasitas 5.000 mL, kompartemen anoda diisi dengan air lindi sebanyak 3.500 ml yang sebelumnya telah diproses dengan suhu 27°C dan pH 7, sementara kompartemen katoda diisi dengan 3.500 mL Aquades pada suhu awal 28°C dan pH 4. Untuk meningkatkan ketersediaan oksigen yang diperlukan dalam reaksi reduksi pada elektroda katoda, dipasang aerator pada kompartemen katoda. selang aerator dimasukkan dan ditenggelamkan ke dalam kompartemen katoda sehingga udara dapat terdispersi secara merata.



Gambar 1. Skema Reaktor *Microbial Fuel Cell*

Pengujian Parameter Listrik

Parameter yang diukur meliputi tegangan (V) dan arus listrik (mA). pengukuran dilakukan secara manual menggunakan multimeter digital yang dihubungkan secara seri dan paralel. Pengujian dilakukan selama tiga hari berturut-turut, dengan rentang waktu pengukuran harian mulai pukul 08.00 WIB hingga 17.00 WIB. pengambilan data dilakukan secara periodik setiap satu jam, sehingga diperoleh 10 titik data per hari untuk masing-masing parameter listrik. Sistem MFC ini dioperasikan dalam kondisi tertutup, tanpa penggantian substrat selama pengujian. Aerator tetap aktif di ruang katoda untuk menjaga ketersediaan oksigen selama proses berlangsung. Perhitungan daya listrik (*Watt*) dilakukan dengan mengalikan tegangan (V) dan arus listrik (mA) yang diperoleh secara simultan pada setiap titik waktu pengukuran selama periode pengujian. Persamaan daya listrik (P):

$$P = V \times I$$

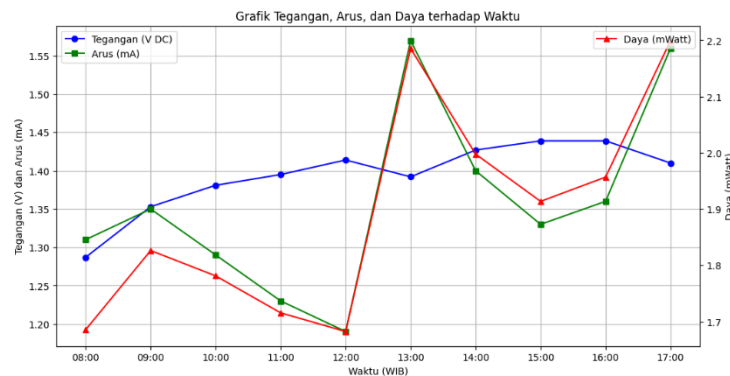
dengan P adalah daya (*Watt*), V adalah tegangan (*Volt*), dan I adalah arus listrik (*Ampere*).

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini bertujuan menguji kemampuan sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) berbasis air lindi dari TPSA Bagendung dalam menghasilkan energi listrik. Parameter utama yang diamati adalah tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan oleh sistem MFC. Pengukuran dilakukan selama satu hari penuh, mulai pukul 08.00 hingga 17.00 WIB, dengan interval satu jam. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel dan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menunjukkan pola perubahan tegangan, arus, dan daya selama periode pengamatan. Pengukuran arus listrik yang dilakukan tanpa adanya beban eksternal menunjukkan nilai arus sebesar $1,77\text{ mA}$. Hal ini terjadi karena pengukuran dilakukan menggunakan multimeter dalam mode arus, multimeter secara elektrik berfungsi sebagai beban eksternal dengan resistansi internal yang sangat rendah. Kondisi ini menyebabkan terjadinya hubung singkat (*short circuit*) antara anoda dan katoda, yang memungkinkan aliran elektron secara maksimum dari anoda ke katoda tanpa adanya hambatan signifikan. Kondisi *short circuit* memunculkan parameter yang dikenal sebagai *short-circuit current*, yaitu arus maksimum yang dapat dihasilkan oleh sistem MFC dalam kondisi beban nol.

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Hari ke-1

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus Listrik (mA)	Suhu Ruang (°C)
08.00	1,287	1,31	27
09.00	1,353	1,35	27
10.00	1,381	1,39	27
11.00	1,359	1,23	27
12.00	1,414	1,19	27
13.00	1,392	1,57	27
14.00	1,427	1,4	27
15.00	1,439	1,33	27
16.00	1,439	1,36	27
17.00	1,41	1,56	27



Gambar 2. Grafik Tegangan, Arus dan Daya terhadap Waktu Hari ke-1

Proses metabolisme oleh bakteri menghasilkan pelepasan elektron yang kemudian ditangkap oleh elektroda anoda, sehingga menghasilkan perbedaan potensial listrik atau tegangan. Pada tahap awal, pengoperasian *Microbial Fuel Cell*, tegangan meningkat dengan cepat. Namun seiring waktu, laju peningkatan tegangan mengalami keterlambatan yang disebabkan oleh penebalan lapisan biofilm. Penurunan efisiensi transfer elektron menuju anoda terjadi akibat karakteristik biofilm yang semakin tebal, sehingga dapat menghambat proses perpindahan elektron. Penebalan biofilm juga dapat menyebabkan mikroorganisme yang berada di lapisan terdalam, yaitu yang paling dekat dengan permukaan anoda mengalami keterbatasan pasokan nutrisi serta akumulasi senyawa toksik. Kondisi ini memicu terjadinya *quorum sensing*, yaitu mekanisme interaksi antar bakteri melalui reaksi kimia untuk mengatur perkembangan biofilm [1].

Tegangan yang dihasilkan sistem MFC relatif stabil sepanjang pengamatan hari ke-1 dengan nilai berkisar antara 1,287 V hingga 1,439 V. Pada pengamatan ini, nilai tegangan terendah terjadi pada pukul 08.00 WIB, dan terus meningkat seiring waktu, hingga mencapai nilai tertinggi pada pukul 15.00 hingga 16.00 WIB. Rata-rata tegangan harian adalah 1,38 V, menunjukkan kestabilan keluaran listrik meskipun terdapat sedikit peningkatan pada jam siang hingga sore.

Arus listrik menunjukkan pola yang lebih fluktuatif, dengan rentang 1,19–1,57 mA. Nilai terendah tercatat pada pukul 12.00 (1,19 mA), sedangkan nilai tertinggi pada pukul 13.00 (1,57 mA) dan kembali meningkat menjelang akhir pengamatan (1,56 mA pada pukul 17.00). Fluktuasi ini diduga dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen terlarut di ruang katoda serta aktivitas metabolisme mikroba di anoda.

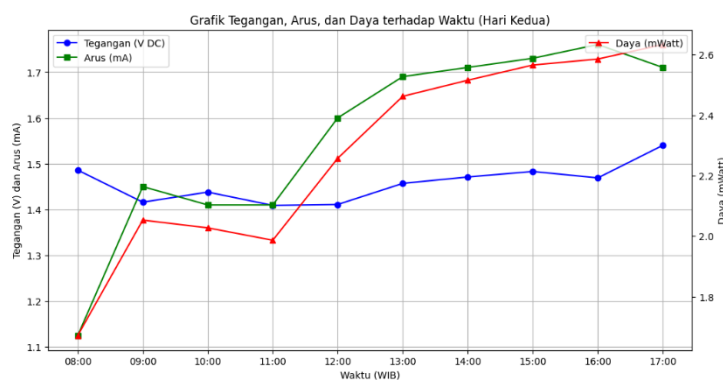
Pada pengamatan hari pertama, suhu lingkungan tercatat cukup stabil. Berdasarkan Tabel 1, suhu lingkungan pada pengamatan hari pertama berada di 27°C. Meskipun suhu cukup stabil, arus listrik yang terukur pada pengamatan hari pertama menunjukkan pola yang cukup fluktuatif. Berdasarkan gambar 2, pada pengamatan hari pertama ini, suhu tidak secara langsung mempengaruhi kestabilan arus maupun daya yang dihasilkan.

Perhitungan daya listrik ($P=V \times I$) menunjukkan nilai antara 1,52–2,19 mW, dengan rata-rata 1,90 mW. Daya maksimum tercatat pada pukul 13.00, bertepatan dengan nilai arus tertinggi. Hal ini menegaskan bahwa daya lebih dipengaruhi oleh kestabilan arus daripada tegangan, karena tegangan relatif konstan sepanjang pengukuran. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem MFC berbasis air lindi TPSA Bagendung mampu menghasilkan energi listrik dengan pola keluaran stabil pada tegangan, tetapi arus dan daya lebih dinamis mengikuti aktivitas metabolisme mikroba. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya pada substrat limbah cair tahu dan limbah domestik, yang juga melaporkan kestabilan tegangan dengan variasi arus yang lebih signifikan.

Dengan demikian, air lindi terbukti memiliki potensi sebagai substrat pada sistem MFC untuk menghasilkan energi listrik. Walaupun daya yang diperoleh masih rendah untuk aplikasi praktis, teknologi ini berkontribusi pada pemanfaatan limbah cair sekaligus mendukung pengembangan energi alternatif ramah lingkungan.

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan Hari ke-2

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus Listrik (mA)	Suhu Ruang (°C)
08.00	1,486	1,125	27
09.00	1,416	1,45	27
10.00	1,438	1,41	27
11.00	1,409	1,41	27
12.00	1,411	1,6	27
13.00	1,457	1,69	27
14.00	1,471	1,71	27
15.00	1,483	1,73	27
16.00	1,469	1,76	27
17.00	1,54	1,71	28



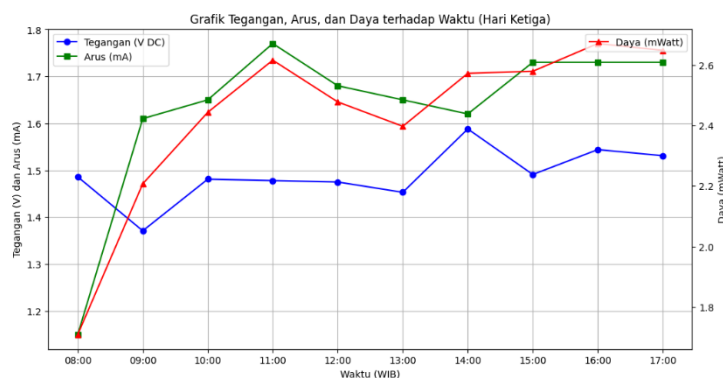
Gambar 3. Grafik Tegangan, Arus dan Daya terhadap Waktu Hari ke-2

Pada hari kedua pengamatan, data yang diperoleh meliputi tegangan (V), arus (mA), suhu (°C), dan daya (mW) pada rentang waktu 08.00 hingga 17.00 WIB. Hasil pengamatan hari kedua menunjukkan dinamika tegangan dan arus listrik yang cenderung meningkat dari pagi hingga sore hari. Tegangan awal pada pukul 08.00 WIB mencapai 1,486 V, kemudian mengalami penurunan pada pukul 09.00 (1,416 V), lalu kembali meningkat secara bertahap hingga mencapai 1,540 V pada pukul 17.00. Di sisi lain, arus listrik menunjukkan peningkatan yang lebih konsisten, dari 1,125 mA hingga ke 1,73 mA di akhir pengamatan. Peningkatan secara simultan antara tegangan dan arus ini mengindikasikan bahwa aktivitas metabolik mikroorganisme elektrogenik meningkat seiring waktu, terutama pada kondisi suhu 27°C. Pola ini mencerminkan adaptasi mikroba terhadap lingkungan yang memungkinkan efisiensi transfer elektron meningkat secara progresif. Daya maksimum yang dihasilkan oleh sistem MFC pada hari kedua tercatat sebesar 2,6334 mW pada pukul 17.00 WIB, sementara terendah muncul pada pukul 08.00 WIB dengan nilai 1,67175 mW. Jika dibandingkan dengan pola pada hari pertama, maka terdapat peningkatan performa harian sebesar 19,7%, yang menunjukkan bahwa sistem secara bertahap mengalami bioadaptasi dan menjadi lebih efisien dalam transfer elektron. Pada pengamatan hari kedua, suhu yang relatif konstan di 27°C selama pengamatan memperkuat bahwa variabel suhu tidak menjadi faktor utama dalam performa MFC harian.

Berdasarkan tabel pengamatan hari kedua menunjukkan bahwa konfigurasi seri dua unit reaktor *Microbial Fuel Cell* berbasis air lindi sebagai substrat mampu menghasilkan daya listrik hingga 2,6334 mW dengan kecenderungan yang stabil dan meningkat sepanjang waktu operasi. Sistem ini menunjukkan korelasi positif antara arus dan daya, dengan arus menjadi indikator yang cukup sensitif terhadap efisiensi sistem. Dengan daya *output* yang masih terbatas untuk kebutuhan praktis, temuan ini mempertegas bahwa potensi *Microbial Fuel Cell* sebagai teknologi energi terbarukan sekaligus sistem pengolah limbah cair

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Hari ke-3

Waktu (WIB)	Tegangan (V)	Arus Listrik (mA)	Suhu Ruang (°C)
08.00	1,486	1,15	26,5
09.00	1,371	1,61	26,5
10.00	1,481	1,65	26,7
11.00	1,478	1,77	26,5
12.00	1,475	1,68	26,5
13.00	1,453	1,65	26,5
14.00	1,588	1,62	26,5
15.00	1,491	1,73	26,5
16.00	1,544	1,73	26,5
17.00	1,531	1,73	26,8



Gambar 4. Grafik Tegangan, Arus dan Daya terhadap Waktu Hari ke-3

Pengamatan pada hari ketiga menunjukkan bahwa nilai tegangan berkisar antara 1,371 V pada pukul 09.00 WIB hingga mencapai 1,500 V yang terjadi pada pukul 14.00 WIB. Berdasarkan gambar 4. Tegangan yang didapat pada hari ketiga menunjukkan fluktuasi yang berada dalam rentang operasional stabil. Arus listrik yang didapat pada pengamatan hari ketiga berkisar antara 1,15 mA hingga 1,77 mA, dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 11.00 WIB. Dibandingkan dengan dua hari sebelumnya, arus yang terukur pada hari ketiga cenderung lebih tinggi secara konsisten menunjukkan peningkatan aktivitas metabolisme mikroba elektrogenik yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi transfer elektron.

Daya listrik yang dihasilkan dari sistem ini dihitung dari hasil perkalian antara tegangan dan arus listrik. Hasil yang didapatkan pada pengamatan hari ketiga ini berada dalam kisaran 1,7089 mW hingga 2,67112 mW dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 16.00 WIB. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *Microbial Fuel Cell* mengalami peningkatan performa secara progresif sepanjang hari. Jika dibandingkan dengan pengamatan hari pertama dan kedua, daya maksimum pada hari ketiga (2,67112 mW) merupakan nilai yang tertinggi dari seluruh periode pengamatan yang dilakukan, hal ini menandakan bahwa sistem mulai mencapai fase stabil secara bioelektrokimia.

Pada pengamatan hari ketiga, suhu lingkungan terpantau konstan, yakni berada ada kisaran 26,5°C hingga 26,8°C. Meskipun terjadi penurunan dibandingkan dengan hari pertama dan kedua (27°C), namun berdasarkan temuan, suhu ini tetap berada dalam zona optimal aktivitas mikroba elektrogenik. Fluktuasi kecil suhu ini tidak memberikan dampak signifikan terhadap keluaran daya listrik yang dihasilkan. Secara keseluruhan, hari ketiga menunjukkan kinerja paling optimal dibandingkan dua hari sebelumnya. Peningkatan ini menandakan bahwa waktu operasi dan adaptasi mikroba memiliki peran penting dalam peningkatan efisiensi sistem.

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa air lindi dari TPSA Bagendung dapat dijadikan substrat dalam sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) untuk menghasilkan energi listrik. Pengukuran selama satu hari menunjukkan bahwa tegangan relatif stabil pada kisaran 1,287–1,439 V (rata-rata 1,38 V), sedangkan arus lebih bervariasi dengan rentang 1,19–1,57 mA (rata-rata 1,37 mA). Daya yang dihasilkan berada pada kisaran 1,52–2,19 mW (rata-rata 1,90 mW), dengan puncak keluaran tercatat pada pukul 13.00 seiring dengan arus tertinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa daya lebih dipengaruhi oleh kestabilan arus dibandingkan tegangan.

Secara umum, sistem MFC berbasis air lindi berpotensi dikembangkan sebagai salah satu alternatif energi terbarukan sekaligus strategi pengelolaan limbah cair yang ramah lingkungan. Namun, karena daya listrik yang dihasilkan masih relatif kecil, diperlukan penelitian lanjutan dengan periode pengamatan lebih panjang, variasi desain reaktor, serta optimasi suplai substrat agar kinerja sistem dapat ditingkatkan.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Yayasan Karya Salemba Empat atas material yang diberikan, teman-teman KSE Nusantara, pihak Tempat Pengolahan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung yang telah menyediakan sampel air lindi, Laboratorium Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian ini, serta rekan penelitian penulis kepada Ikwan Arudin, Muhammad Dikril Zulkarnaen, dan Ranisa Oktaviyanti.

Daftar Pustaka

- [1] M. Hijir Al Gazali, A. Zaeni, P. Endang Susilowati, and R. Efendi, "Potensi Air Lindi dari TPA Puuwatu sebagai Sumber Energi Alternatif Berbasis Teknologi Microbial Fuel Cell," *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, 2023.
- [2] P. Purwono, H. Hermawan, and H. Hadiyanto, "PENGUNAAN TEKNOLOGI REAKTOR MICROBIAL FUEL CELLS (MFCs) DALAM PENGOLAHAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU UNTUK MENGHASILKAN ENERGI LISTRIK," *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 12, no. 2, p. 57, Sep. 2015, doi: 10.14710/presipitasi.v12i2.57-65.
- [3] K. A. Dian, B. Zaman, and Purwono, "PEMANFAATAN SISTEM MICROBIAL FUEL CELL (MFC) SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK ALTERNATIF PADA PENGOLAHAN COD DALAM LINDI MENGGUNAKAN TUMBUHAN SENTE (*Alocasia macrorrhiza*)," *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2017.
- [4] Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), "113 Juta Ton Sampah di Indonesia Tidak Terkelola dengan Baik," *Deputi Bidang Riset dan Inovasi Daerah*, 2025. [Online]. Available: <https://brin.go.id/drid/posts/kabar/113-juta-ton-sampah-di-indonesia-tidak-terkelola-dengan-baik>
- [5] R. Arigeni, M. R. Kirom, and A. Qurthobi, "ANALISIS PRODUKSI ENERGI LISTRIK PADA MICROBIAL FUEL CELL MENGGUNAKAN SUBSTRAT TONGKOL JAGUNG DENGAN KONTROL SUHU," Apr. 2019.
- [6] R. Januarita, A. Azizah, A. Ulfa, H. Syahidah, and G. Samudro, "MFCS 2 IN 1 : Microbial Fuel Cells Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik (Alternatif : Limbah Isi Rumen Sapi dengan Pengaruh Variasi COD dan PH)," *Artikel Ilmiah Universitas Diponegoro*.
- [7] A. Nugraha, A. Nihin, P. R. Ansyah, A. Amrullah, and G. R. Cahyono, "Analisis Tegangan Listrik Microbial Fuel Cell dengan Variasi Substrat Air Cucian Beras dan Limbah Kulit Pisang," *Buletin Profesi Insinyur*, vol. 7, no. 1, pp. 45–49, Apr. 2024, doi: 10.20527/bpi.v7i1.222.

- [8] A. Rizky Maulina, S. Hendriany, U. Dwi Putri, and Irdawati, "Potensi Microbial Fuel Cell (MFC) pada Mikroba Tanah Sawah Lumpur Dataran Tinggi," *Prosiding SEMNASBIO*, 2024.
- [9] I. Muftiana, L. Suyati, and D. Setiyo, "Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi The Effect of KMnO_4 and $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Concentrations on Electrical Production in Fuel Cell Microbial System with *Lactobacillus bulgaricus* Bacteria in a Tofu Whey Substart," vol. 21, no. 1, pp. 49–53, 2018.
- [10] E. Kurniati, A. Tunggul, S. Haji, and C. A. Permatasari, "Pengaruh Penambahan EM 4 Dan Jarak Elektroda Terhadap Listrik Yang Dihasilkan MFC (Air Lindi) Effect Of EM 4 Add ition And Electrode ' s Distance Towards Electric That Is Produced By MFC (Leachate)," pp. 19–30.

