



Volume 10, nomor 2, tahun 2025

# Biogenerasi

Jurnal Pendidikan Biologi  
<https://e-journal.my.id/biogenerasi>



## PRODUKSI BIOLISTRIK OLEH KONSORSIUM BIKULTUR BAKTERI TERMOFILIK MENGGUNAKAN KONFIGURASI FERMENTOR RANGKAIAN SERI PADA *MICROBIAL FUEL CELL*

Shintia Hendriany<sup>1</sup>, Irdawati\*, Universitas Negeri Padang, Indonesia

\*Corresponding author E-mail: [irdawati.amor40@gmail.com](mailto:irdawati.amor40@gmail.com)

### Abstract

The increasing global energy demand and the negative impact of the use of fossil energy on the environment encourage the use of environmentally friendly renewable energy sources, one of which is through *Microbial Fuel Cell* technology. This study aims to measure or analyze bioelectrical production by utilizing a consortium of thermophilic bacterial bicultures (SSA 14 and SSA 16) in an MFC system arranged in a series circuit configuration. The research method was carried out experimentally in the laboratory using a dual-chamber reactor arranged in a series of two and three series, with voltage measurements carried out every 2 hours for 24 hours. The results showed that the series three series produced a higher average voltage (0.823 V) than the series two series (0.744 V). This study indicates that the addition of the number of fermenter units in the series series significantly increases the electrical voltage produced.

**Keywords:** *Microbial Fuel Cell, Bioelectrical, Series Series, Consortium, Thermophilic Bacteria*

### Abstrak

Meningkatnya kebutuhan energi global serta dampak negatif penggunaan energi fosil terhadap lingkungan mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan, salah satunya melalui teknologi *Microbial Fuel Cell*. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur atau menganalisis produksi biolistrik dengan memanfaatkan konsorsium bikultur bakteri termofilik (SSA 14 dan SSA 16) dalam sistem MFC yang disusun dalam konfigurasi rangkaian seri. Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan reaktor dua ruang (*dual chamber*) yang disusun dalam rangkaian seri dua dan tiga, dengan pengukuran tegangan dilakukan setiap 2 jam selama 24 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangkaian seri tiga menghasilkan tegangan rata-rata lebih tinggi (0,823 V) dibandingkan rangkaian seri dua (0,744 V). Penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan jumlah unit fermentor dalam rangkaian seri secara signifikan meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan.

**Kata Kunci:** *Microbial Fuel Cell, Biolistrik, Rangkaian Seri, Konsorsium, Bakteri Termofilik*

© 2025 Universitas Cokroaminoto palopo

Correspondence Author :  
Universitas Nusa Nipa

p-ISSN 2573-5163  
e-ISSN 2579-7085

## PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik dunia terus bertambah seiring bertambahnya jumlah penduduk dan berkembangnya industri. Sayangnya, ketergantungan kita pada energi fosil menyebabkan berbagai masalah lingkungan seperti polusi dan peningkatan emisi gas rumah kaca (Fitriana *et al.*, 2023). Karena itu, banyak penelitian sekarang berfokus pada pengembangan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Salah satu teknologi inovatif yang dikembangkan adalah *Microbial Fuel Cell* (MFC) (Siswanti, 2016). *Microbial Fuel Cell* merupakan sebuah sistem bioelektrokimia yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghasilkan listrik dari bahan organik (Oibileke *et al.*, 2021).

MFC memiliki keunggulan dalam mengubah limbah organik menjadi energi listrik sekaligus membersihkan limbah tersebut. Namun, tantangan besar dalam teknologi ini adalah bagaimana meningkatkan efisiensi konversi energi dan menjaga kestabilan produksi listrik. Salah satu cara yang sedang dikembangkan adalah dengan menggunakan konsorsium bikultur bakteri, terutama bakteri termofilik yang bisa bertahan hidup dan tetap aktif pada suhu tinggi. Bakteri termofilik merupakan bakteri yang bisa bertahan hidup pada lingkungan yang memiliki temperatur suhu sebesar 45°C-80°C (Irdawati *et al.*, 2015). Bakteri termofilik yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sumber mata air panas Sapan Sungai Aro terletak di Kecamatan Koto Parik Gadang di Ateh, Kabupaten Solok Selatan yang memiliki suhu 75°C dan pH 8 atau bersifat basa (Irdawati *et al.*, 2018).

Penggunaan konsorsium bikultur bakteri termofilik dalam MFC telah terbukti meningkatkan produksi listrik. Menurut penelitian Vestimarta & Irdawati (2024), penggunaan dua jenis bakteri termofilik dalam MFC mampu menghasilkan tegangan hingga 0,749 V hanya dalam 10 jam operasi. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dua jenis bakteri dapat meningkatkan aktivitas metabolik dan transfer elektron dibandingkan dengan penggunaan satu jenis bakteri saja.

Selain faktor mikroorganisme, desain teknis dari reaktor MFC juga sangat menentukan kinerjanya. Salah satu desain yang terbukti efektif adalah menggunakan konfigurasi rangkaian seri, di mana beberapa unit MFC dihubungkan secara berurutan untuk

meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan. Ibrahim *et al.*, (2014) menunjukkan bahwa menambah jumlah bejana dalam rangkaian seri dapat meningkatkan tegangan dari 0,115 V (dua bejana) menjadi 0,534 V (empat bejana). Begitu juga, Penelitian yang telah dilakukan oleh Arbianti (2013), menggunakan rangkaian seri dengan memanfaatkan mikroba *Lactobacillus bulgaricus* menunjukkan hasil bahwa pada rangkaian tunggal, tegangan listrik maksimum yang dihasilkan sebesar 0,2007 V, sedangkan pada rangkaian seri meningkat hingga 0,6855 V. Penelitian ini mengindikasikan bahwa penggunaan rangkaian seri dapat meningkatkan tegangan listrik secara signifikan.

Menggabungkan konsorsium bikultur bakteri termofilik dengan konfigurasi rangkaian seri berpotensi besar meningkatkan efisiensi produksi listrik pada MFC. Sayangnya, masih sedikit penelitian yang mengkaji kombinasi kedua metode ini. Penelitian lanjutan sangat dibutuhkan untuk memahami lebih dalam interaksi antar bakteri dalam konsorsium, kestabilan sistem pada suhu tinggi, serta efek konfigurasi rangkaian seri terhadap jumlah listrik yang dihasilkan dan efisiensi keseluruhan sistem.

Dari latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi produksi listrik menggunakan konsorsium bikultur bakteri termofilik dalam sistem MFC berkonfigurasi rangkaian seri. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih lengkap tentang bagaimana sinergi antar bakteri dan desain reaktor mempengaruhi produksi energi, sehingga dapat menjadi dasar untuk pengembangan MFC yang lebih efektif dan aplikatif di masa depan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 sampai bulan Januari 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain, gelas ukur, *beaker glass*, tabung reaksi, rak tabung reaksi, *erlenmeyer*, lampu bunsen, spatula, *vortex*, *stirrer*, timbangan digital, jarum ose, hot plate, oven, pH meter, pipet tetes, *autoclave*, *shaker incubator*, *magnetic stirrer*, *spektrofotometer*, lemari

pendingin, *petridish*, label, mikropipet, *incubator*. elektroda (plat *zinc* dan plat tembaga), kabel jepit buaya, botol kaca, *multimeter digital*, tali sumbu, lakban hitam.

Sedangkan untuk bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu isolat konsorsium bakteri termofilik SSA (Sungai Sapan Aro) yang kompetible yaitu isolat SSA16 dan SSA 14 (isolat konsorsium bikultur terbaik koleksi Dr. Irdawati, M.Si) dari laboratorium Mikrobiologi FMIPA UNP, bubuk medium NA, label, plastik kaca, akuades, aluminium foil, Alkohol 70%, medium TMM cair dengan komposisi 19 ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ,  $K_2HPO_4$ ,  $(NH_4)_2SO_4$ ,  $NaCl$ , *yeast extract*, pepton, glukosa),  $NaOH$  3N, kapas, tisu,  $NaCl$ .

#### Sterilisasi Alat

Alat yang akan digunakan dalam penelitian disterilisasi terlebih dahulu setelah dicuci dan dikeringkan. Untuk cawan petri dibungkus dengan kertas buram dan dimasukkan ke dalam plastik kaca. Untuk gelas ukur dan tabung reaksi dibungkus dengan plastik kaca. Sedangkan untuk alat yang terbuat dari logam seperti jarum ose sterilisasi menggunakan pijar api sampai berwarna merah. Sterilisasi dengan *autoclave* dilakukan pada suhu  $121^\circ C$  pada tekanan 15 *psi*.

#### Pembuatan Medium TMM

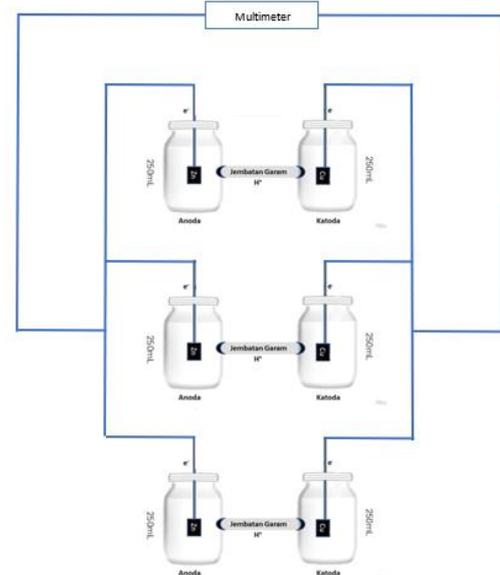
Medium untuk menumbuhkan bakteri termofilik menggunakan medium *Thermophilic Minimum Media* (TMM) yang terdiri dari 0,01%  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ; 0,1%  $K_2HPO_4$ ; 0,1%  $NaCl$ , 0,35%  $(NH_4)_2SO_4$ ; 0,05% ekstrak kapang, 0,05% pepton, 6% glukosa (Zilda *et al.*, 2008). Dilarutkan dengan *aquades* sampai dengan 1000 ml. Kemudian dipanaskan hingga homogen dan sterilisasi dengan *autoclave* pada suhu  $121^\circ C$  dengan tekanan 15 *psi* selama 15 menit.

#### Konstruksi Bioreaktor MFC Fermentor Rangkaian Seri

Fermentasi konsorsium bakteri termofilik dilakukan dalam bioreaktor yang dirangkai dengan 2 tabung kaca (*reactor dual chamber*), yang terbagi antara kompartemen katoda dan anoda. Kompartemen anoda diisi dengan medium TMM dan konsorsium bakteri termofilik SSA 14 dan SSA 16, sedangkan kompartemen katoda diisi dengan larutan akuades. Kedua kompartemen ini dirancang menggunakan wadah (toples) yang berukuran 500 ml (Nugroho *et al.*, 2020). Material elektroda yang digunakan pada penelitian ini

adalah lempeng *zinc* (Zn) untuk bagian kompartemen anoda dan pada katoda menggunakan elektroda tembaga (Cu), dengan masing-masing ukuran elektroda 2 x 5 cm, digunakan kabel dengan jepit buaya sebagai penghubung elektroda ke alat multimeter.

MFC yang dirangkai secara dual chamber kemudian di rangkai secara seri dengan cara merangkai bejana yang disusun secara seri yang terdiri atas dua dan tiga bejana. Kompartemen anoda dan katoda diisi dengan elektroda, kemudian elektroda pada masing-masing kompartemen dihubungkan dengan rangkaian kabel seri 2 dan seri 3 pada multimeter digital. Rangkaian seri 2 merupakan rangkaian yang tersusun dari tiga pasang kompartemen MFC secara seri, sedangkan rangkaian seri 3 merupakan rangkaian yang tersusun dari empat pasang kompartemen MFC secara seri. Konstruksi sistem MFC dengan rangkaian seri dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Konstruksi sistem MFC dengan rangkaian seri 2 dan 3

#### Aktivasi Bakteri

Aktivasi 2 isolat bakteri termofilik Isolat SSA 14, SSA 16, masing-masing dilakukan dengan mengambil sebanyak 5 ose dari agar miring dan dimasukan ke dalam tabung reaksi berisi garam fisiologis ( $NaCl$  0,85%) sebanyak 5 ml yang akan disetarakan dengan larutan *Mc Farland* 1. Kemudian sebanyak 5 ml suspensi bakteri dimasukan ke dalam *erlenmeyer* yang berisi medium TMM sebanyak 60 ml, lalu diinkubasi selama 24 jam untuk diaktivasi di *shaker incubator* pada suhu  $60^\circ C$  dengan kecepatan

150 rpm (Septiani *et al.*, 2017).

### Produksi Energi Listrik dari Konsorsium Bikultur Bakteri Termofilik

Suspensi bakteri yang telah di aktivasi sebanyak 20 ml diambil untuk membuat konsorsium bikultur dengan perbandingan 1:1 antara SSA 14 dan SSA 16 (masing-masing diambil 10 ml). Campuran ini dimasukkan ke dalam 180 ml medium TMM dengan tiga ulangan (triplo) dan diinkubasi dalam inkubator sesuai dengan perlakuan fermentor rangkaian seri, yaitu fermentor rangkaian seri 2 dan fermentor rangkaian seri 3.

### Pengukuran Kinerja MFC

Pengukuran dilakukan setiap 2 jam sekali selama 24 jam. Kemudian dihitung tegangan listrik (*Volt*) yang dihasilkan dari konsorsium bikultur bakteri termofilik dengan fermentor rangkaian seri yang berbeda menggunakan alat digital multimeter (Sulistiyawati *et al.*, 2020).

### Analisis Data

Data hasil pengukuran energi listrik yang dihasilkan oleh konsorsium bakteri termofilik menggunakan rangkaian seri, akan dianalisis secara dengan ANOVA (*Analysis of Variance*) dan terdapat perbedaan yang nyata maka dilakukan uji lanjut DMRT (*Duncan Multiple Range Test*) pada taraf 5%.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Produksi Tegangan Listrik dengan Menggunakan Konfigurasi Fermentor Rangkaian Seri

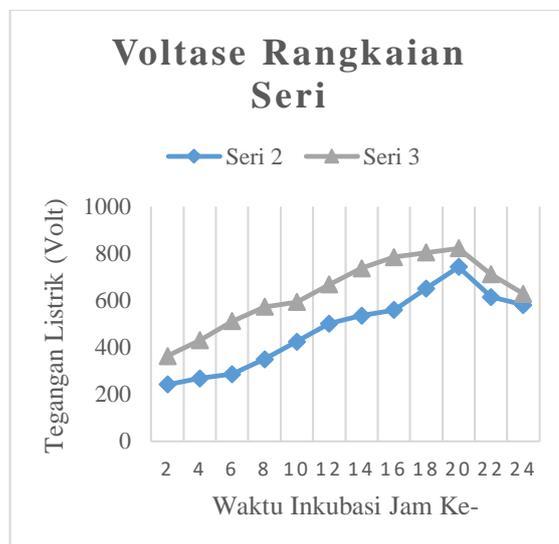
Data hasil penelitian dengan menggunakan rangkaian seri selama waktu inkubasi 24 jam diinformasikan dalam bentuk Tabel 1. dan grafik pola tegangan listrik dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 1. Produksi Tegangan Listrik (*Volt*) Fermentor Rangkaian Seri 2 dan Seri 3 Selama Waktu Inkubasi 20 Jam

No.	Perlakuan	Rata-Rata <i>Volt</i>
1.	Rangkaian Seri 2	0,744
2.	Rangkaian Seri 3	0,823

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsorsium bikultur mikroba dengan konfigurasi rangkaian seri yang berbeda mampu menghasilkan tegangan listrik dengan rata-rata

yang berbeda antara satu rangkaian seri dengan rangkaian seri lainnya. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penambahan jumlah fermentor dalam konfigurasi seri berpotensi meningkatkan tegangan listrik yang dihasilkan oleh sistem.



Gambar. 2. Grafik Pola Tegangan Listrik Fermentor Rangkaian Seri 2 dan Seri 3

### Pembahasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur atau menganalisis produksi biolistrik oleh konsorsium bikultur bakteri termofilik menggunakan konfigurasi rangkaian seri dalam sistem Microbial Fuel Cell (MFC). Rangkaian listrik adalah susunan komponen elektronika yang dihubungkan satu sama lain dengan metode tertentu dan setidaknya memiliki satu lintasan tertutup (Marhadi & Ardisal, 2019). Rangkaian listrik dapat dibagi menjadi rangkaian paralel dan rangkaian seri (Nisa *et al.*, 2024). Rangkaian paralel adalah rangkaian listrik yang komponennya tersusun secara paralel atau sejajar, sehingga arus listrik mengalir melalui beberapa cabang yang terpisah (Manurung & Sinambela, 2018). Sedangkan, rangkaian seri adalah rangkaian listrik yang komponennya tersusun secara berurutan, sehingga arus listrik hanya mengalir melalui satu jalur (Nisa *et al.*, 2024).

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh bahwa konfigurasi rangkaian seri 2 menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 0,744 V, sedangkan konfigurasi rangkaian seri 3 menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 0,823 V. Penelitian ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah unit dalam

rangkaian seri, maka semakin tinggi tegangan listrik yang dapat dihasilkan.

Prinsip dasar konfigurasi rangkaian seri dalam MFC adalah bahwa tegangan total merupakan hasil penjumlahan dari tegangan masing-masing sel (Logan *et al.*, 2006). Dalam konfigurasi seri, anoda dari satu unit dihubungkan dengan katoda dari sel berikutnya, sehingga tegangan individu dari setiap unit menumpuk menjadi satu tegangan total yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan hukum *Kirchhoff* tentang tegangan dalam rangkaian listrik, yang menyatakan bahwa dalam rangkaian seri, tegangan total adalah jumlah dari semua tegangan di tiap komponen.

Perbedaan hasil tegangan pada rangkaian seri 2 dan 3 dapat dijelaskan melalui pengaruh jumlah sel dalam rangkaian terhadap tegangan listrik. Dengan menambahkan unit sel tambahan pada rangkaian seri 3, terdapat peningkatan tegangan sebesar 0,079 Volt dibandingkan rangkaian seri 2. Ini sejalan dengan penelitian Aelterman *et al.* (2006) yang menunjukkan bahwa semakin banyak unit MFC yang disusun seri, tegangan kumulatif meningkat, meskipun perlu diperhatikan adanya kemungkinan resistansi internal yang dapat mengurangi efisiensi sistem jika jumlah unit terlalu banyak.

Selain itu, penggunaan konsorsium bikultur bakteri termofilik memberikan kontribusi penting terhadap produksi biolistrik. Bakteri termofilik diketahui mampu bertahan dan melakukan metabolisme pada suhu tinggi, meningkatkan kecepatan dekomposisi substrat organik dan mempercepat aliran elektron ke anoda (Pham *et al.*, 2006). Salah satu keuntungan menggunakan bakteri termofilik dalam teknologi MFC adalah kemampuannya untuk menghasilkan arus listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan bakteri mesofilik dalam reaktor yang sama (Marshall & May, 2009). Dengan adanya dua jenis bakteri (bikultur), terjadi sinergi metabolik yang memungkinkan konversi substrat menjadi energi listrik menjadi lebih efisien dibandingkan penggunaan monokultur. Hal ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Angural *et al.* (2020), tegangan listrik yang dihasilkan dengan menggunakan bakteri mesofilik yaitu 0,463 V, yang lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Sulistiyawati *et al.* (2020), di mana bakteri termofilik menghasilkan tegangan listrik sebesar 0,270 V.

Pada sistem MFC ini, elektron yang dihasilkan dari aktivitas metabolik mikroba akan bergerak dari anoda menuju katoda melalui sirkuit eksternal, menghasilkan aliran listrik. Dalam konfigurasi seri, peningkatan jumlah elektron yang mengalir secara berurutan di antara sel-sel memperbesar akumulasi tegangan (Kim *et al.*, 2012). Oleh karena itu, rangkaian seri 3, yang memiliki lebih banyak unit sel, mampu menghasilkan tegangan lebih tinggi dibandingkan rangkaian seri 2. Namun, dalam konfigurasi seri terdapat risiko yang disebut *voltage reversal*, yaitu kondisi ketika salah satu sel mengalami kelebihan beban dan justru menghasilkan tegangan negatif (Khaled *et al.*, 2015). Dalam penelitian ini, perbedaan tegangan yang tidak terlalu ekstrem antara rangkaian seri 2 dan 3 mengindikasikan bahwa sistem masih berada dalam batas kestabilan, sehingga belum menunjukkan gejala *voltage reversal*.

Selain faktor konfigurasi dan jenis mikroorganisme, produksi energi listrik dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis mikroorganisme, elektroda, substrat, pH, suhu, dan media pertumbuhan (Nawaz *et al.*, 2022). Dalam penelitian yang menggunakan bakteri SSA 14 dan SSA 16, proses fermentasi dilakukan menggunakan media pertumbuhan khusus bernama TMM, yang mengandung nutrisi yang memadai untuk mendukung pertumbuhan bakteri termofilik (Irdawati *et al.*, 2023). Salah satu komponen utama dalam media TMM adalah glukosa, yang berfungsi sebagai sumber karbon penting bagi pertumbuhan dan perkembangan bakteri (Goto, 1992). Besarnya tegangan listrik yang dihasilkan berkaitan erat dengan jumlah elektron yang dilepaskan oleh bakteri. Tegangan ini mencerminkan dinamika sistem yang dikatalisis oleh organisme hidup (Sitorus, 2010). Ibrahim *et al.* (2014) menyatakan bahwa saat bakteri memecah substrat sederhana dalam proses metabolismenya, akan terjadi peningkatan tegangan listrik yang dapat terukur melalui multimeter. Sebaliknya, penurunan tegangan terjadi ketika bakteri masih dalam tahap adaptasi untuk mendegradasi substrat kompleks menjadi bentuk yang lebih sederhana. Di akhir proses pengukuran, penurunan tegangan juga dapat disebabkan oleh berkurangnya kandungan nutrisi dalam substrat TMM akibat aktivitas metabolik bakteri yang terus berlangsung, sehingga jumlah ion yang

dihasilkan pun menurun (Ibrahim *et al.*, 2017).

Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi antara penggunaan konsorsium bikultur bakteri termofilik dan penerapan konfigurasi rangkaian seri pada MFC efektif dalam meningkatkan produksi biolistrik. Dengan konfigurasi rangkaian seri, tegangan listrik dapat ditingkatkan tanpa perlu memperbesar ukuran masing-masing unit MFC. Hal ini memiliki peluang besar dalam aplikasi praktis teknologi MFC, seperti untuk sumber energi mandiri di daerah terpencil, sensor lingkungan, maupun sistem pengolahan limbah berenergi mandiri (Logan *et al.*, 2006).

### SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, produksi biolistrik oleh konsorsium bikultur bakteri termofilik menggunakan konfigurasi fermentor rangkaian seri 3 menghasilkan tegangan listrik yang signifikan dibandingkan dengan rfermentir rangaian seri 2.

#### Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menguji berbagai parameter lain seperti jenis substrat, komposisi medium dan jenis elektroda agar menghasilkan tegangan listrik yang lebih tinggi dan maksimal.

### DAFTAR RUJUKAN

- Aelterman, P., Rabaey, K., The Pham, H., Boon, N., & Verstraete, W. (2006). Continuous electricity generation at high voltages and currents using stacked microbial fuel cells. *Environmental Science & Technology*, 40(10), 3388-3394.
- Ananto, I. R., Marzuki, I., Wicaksono, I., & Sunyoto, A. (2023). Optimasi Energi Listrik Berbasis Microbial Fuel Cell Berbahan Feses Sapi Menggunakan Rangkaian Seri. *Jurnal JEETech*, 4(1), 38-47.  
<https://doi.org/10.32492/jeetech.v4i1.4106>
- Angural, S., Bala, I., Kumar, A., Kumar, D., Jassal, S., & Gupta, N. (2020). Bleach Enhancement of Mixed Wood Pulp by Mixture of Thermo-aAlkali-Stable Xylanase and Mannanase Derived Through Co-Culturing of Alkalophilic *Bacillus* sp. NG-27 and *Bacillus nealsonii* PN-11. *Heliyon*, 7(1).
- Arbianti, R., Tania S. U., Heri H., Deni N., Ester K., & Ira T. (2013). Performance Optimization of Microbial Fuel Cell Using *Lactobacillus bulgaricus*, *Makara Journal of Technology*, 17 (1): 32-38
- Fitriana, M. A'an A., Faisal A., Zidny M. (2023). Bioelectricity Of Cocoa Pod Waste As A Substrate In A Double Chamber Microbial Fuel Cell. *Jurnal Media Elektro*, 12(2)
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adjani, Z. N. (2017). Kinerja Microbil fuel Cell penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 296-304
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Rosmalawati, S. (2014). Kinerja Rangkaian Seri Sistem Microbial Fuel Cell sebagai Penghasil Biolistrik dari Limbah Cair Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(1), 71-79.
- Irdawati, I., Hidayati, Z., Advinda, L., Fifendy, M., & Salvia, S. (2023). Specific Thermophilic Bacterial Xylanase Enzyme Activity Using Rice Straw as Substrate and Its Possibility as an Eco-friendly Fabric Bleach. *In 3rd International Conference on Biology, Science and Education (IcoBioSE 2021)*(pp. 67-75). Atlantis Press.
- Irdawati, Mades Fifendy, dan Nofri Yenti. (2015). Penapisan Bakteri Termofilik Penghasil Enzim Amilase dari Sumber Air Panas Sapan Sungai Aro 35 Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Eksakta*. 1: 74.
- Irdawati, Putri, I.S., Syamsuardi, Agustien, A., Rilda, Y. 2018. The Thermophilic Bacterial Growth Curve. *Bioscience*. 2(2): 58-64.
- Khaled, F., Vitoria, L., Alcaraz, M. L., & Miguel, M. (2015). Voltage balancing strategies for serial connection of microbial fuel cells. *The European Physical Journal Applied Physics*, 71(1), 10901.
- Kim, B., Choi, S., & Yang, Y. (2012). Voltage

- increase of microbial fuel cells with multiple membrane electrode assemblies by in series connection. *Electrochemistry Communications*, 23, 52–55.
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., ... & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environmental Science & Technology*, 40(17), 5181-5192.
- Manurung, S. R., & Sinambela, M. (2018). Perangkat Pembelajaran IPA Berbentuk LKS Berbasis Laboratorium. *INPAFI (Inovasi Pembelajaran Fisika)*, 6(1).
- Marhadi, & Ardisal. (2019). Meningkatkan Kemampuan Merangkai Listrik Sederhana Melalui Multi Metode Pada Anak Tunarungu di SLB Al-Ishlah Padang. *Jurnal Penelitian Pendidikan Kebutuhan Khusus*, 7(I), 222–227
- Marshall, C. W & May, H. D. (2009). Electrochemical Evidence of Direct Electrode Reduction by a Thermophilic Gram-Positive Bacterium, *Thermincola ferriacetica*. *Energy & Environmental Science*, 2(6), 699-705.
- Nawaz, A., ul Haq, I., Qaisar, K., Gunes, B., Raja, S. I., Mohyuddin, K., & Amin, H. (2022). Microbial fuel Cells: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 357-373.
- Nisa, F. K., Daffa A. R., Yulialisa R. K., Yunisa A. N., Sahda A. N., Junia D. P., Yuni R. (2024). Analisis Pemahaman Konsep Rangkaian Listrik Seri dan Paralel melalui Praktikum Sederhana. *Jurnal Belaindika: Pembelajaran dan Inovasi Pendidikan*, 6(2): 107-118
- Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E. L., & Nwokolo, N. (2021). *Microbial fuel cells*, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A minireview. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003.
- Pham, C. A., Jung, S. J., Phung, N. T., Lee, J., Chang, I. S., Kim, B. H., & Yi, H. (2006). A novel electrochemically active and Fe(III)-reducing *bacterium* phylogenetically related to *Thermincola* species isolated from a microbial fuel cell. *FEMS Microbiology Letters*, 223(1), 129-134.
- Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, 23(6), 291-298.
- Siswanti, A. C. (2016). Pengaruh Variasi Optical Density Bakteri *Bacillus subtilis* Terhadap Efisiensi Listrik Microbial Fuel Cell. *Unesa Journal Of Chemistry*, 5(3).
- Sitorus, B. (2010). Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan Melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. *ELKHA 2*. No. 1: 10-15.
- 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.
- Vestimarta, A. W., & Irdawati, I. (2024). Produksi Biolistrik dengan Microbial Fuel Cell (MFC) dari Bakteri Termofilik. *MASALIQ*, 4(1), 359–366. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i1.2632>