

## ANALISIS VARIASI SUBSTRAT AIR CUCIAN BERAS DAN KULIT PISANG MICROBIAL FUEL CELL TERHADAP ARUS LISTRIK

### ANALYSIS OF SUBSTRATE VARIATION OF RICE WASHING WATER AND BANANA WASTE MICROBIAL FUEL CELL ON ELECTRICITY

Andy Nugraha<sup>1)</sup>, Aji Nihin<sup>2)</sup>, Akhmad Syarief<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia  
email: [andy.nugraha@ulm.ac.id](mailto:andy.nugraha@ulm.ac.id)<sup>1)</sup>\*, [ajinihin0123@gmail.com](mailto:ajinihin0123@gmail.com)<sup>2)</sup>, [akhmad.syarief@ulm.ac.id](mailto:akhmad.syarief@ulm.ac.id)<sup>3)</sup>

#### Abstrak

*Microbial fuel cell* (MFC) atau sel bahan bakar mikroba adalah teknologi yang memanfaatkan aktivitas biologis mikroorganisme untuk menghasilkan listrik dari energi organik berupa limbah. Limbah yang sering di jumpai dalam kehidupan sehari-hari beberapa diantaranya adalah air cucian beras dan limbah kulit pisang yang mudah di temukan dan sering dibuang tanpa dimanfaatkan padahal memiliki kandungan organik untuk sumber makanan bagi mikroba yang nantinya hasil metabolisme dari mikroba tersebut dapat dikonversikan untuk menghasilkan arus listrik di dalam sistem *microbial fuel cell* (MFC). *Microbial fuel cell* dalam penelitian ini menggunakan variasi substrat air cucian beras, kulit pisang dan substrat campuran antara air cucian beras dan kulit pisang serta variasi waktu inkubasi 3, 5 dan 7 hari. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa variasi substrat campuran antara air cucian beras dan kulit pisang (50%;50%) memiliki arus listrik yang paling besar yaitu 0,262 mA pada waktu inkubasi 5 hari. Pada semua variasi substrat secara umum terjadi kenaikan arus listrik pada waktu inkubasi hari ke 3 dan ke 5 dan terjadi penurunan pada hari ke 7.

**Kata Kunci:** *microbial fuel cell*, air cucian beras, kulit pisang

#### Abstract

*Microbial fuel cell* (MFC) is a technology that utilizes the biological activity of microorganisms to produce electricity from organic energy in the form of waste. Waste that is often encountered in everyday life, some of which are rice washing water and banana peel waste, which are easy to find and are often thrown away without being used, even though they contain organic content, which is a food source for microbes, which can later be converted into metabolic products from these microbes to produce electricity. Electricity within the *microbial fuel cell* (MFC) system. The *microbial fuel cell* in this research used a variety of substrates of rice washing water, banana peels and a mixed substrate of rice washing water and banana peels, as well as variations in incubation times of 3, 5 and 7 days. From the research that has been carried out, it is known that variations in the substrate mixture of rice washing water and banana peels (50%; 50%) have the greatest electric current, namely 0.262 mA at an incubation time of 5 days. In all substrate variations, there was an increase in electric current on the 3rd and 5th days of incubation and a decrease on the 7th.

Received:  
9 Agustus 2023

Accepted:  
14 Desember  
2023

Published:  
25 Desember  
2023



---

**Keywords:** *microbial fuel cell, rice washing water, banana*

---

DOI:10.20527/sjmekinematika.v8i2.266

---

**How to cite:** Nugraha, A., Nihin, A., & Syarief, A., "Analisis Variasi Substrat Air Cucian Beras Dan Kulit Pisang *Microbial Fuel Cell* Terhadap Arus Listrik". *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 8(2), 131-139, 2023.

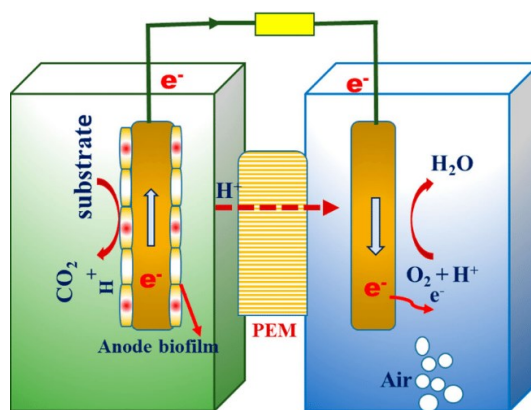
---

## PENDAHULUAN

Listrik tidak lepas dari kehidupan masyarakat modern, hampir semua peralatan memerlukan listrik sebagai tenaga penggerak. Di Indonesia sebagian listrik masih dihasilkan dari membakar bahan bakar fosil yang tentunya tidak ramah lingkungan dan tidak dapat diperbaharui. Maka dari itu perlu adanya sumber-sumber listrik baru yang dapat menghasilkan listrik tanpa merusak lingkungan[1]. Listrik dapat dihasilkan melalui berbagai macam cara, salah satunya yaitu melalui konversi biomassa menjadi energi listrik melalui proses pembakaran, fermentasi, atau gasifikasi. Contohnya, pembangkit listrik tenaga biomassa menggunakan limbah kayu atau jerami sebagai bahan bakar untuk menghasilkan listrik. Selain dengan proses pembakaran energi listrik juga dapat dihasilkan melalui proses metabolisme mikroba.

Energi listrik yang dihasilkan oleh mikroba sekarang sudah mulai banyak diteliti oleh para peneliti dengan menggunakan berbagai jenis media substrat, seperti kuning telur, limbah sayur, buah busuk, air cucian beras, dan lainnya. Menariknya dari semua penelitian yang telah dilakukan mengemukakan bahwa dari proses metabolisme bakteri pada substrat tersebut dapat menghasilkan listrik dengan memanfaatkan elektron hasil dari metabolisme bakteri. Hal tersebut mengilhami peneliti untuk turut menyumbang ilmu pengetahuan dalam bidang *microbial fuel cell*. *Microbial fuel cell* yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan substrat air cucian beras dan kulit pisang kepok, penggunaan material air cucian beras dan kulit pisang kepok ditujukan untuk memanfaatkan limbah yang berada disekitar peneliti yang selama ini terbuang percuma bahkan menjadi pengotor lingkungan dan media pertumbuhan bakteri dan nyamuk menjadi sesuatu yang bermanfaat untuk kedepannya nanti. Selain itu pemanfaatan air cucian beras dan kulit pisang kepok sebagai substrat juga dikarenakan belum adanya penelitian *microbial fuel cell* yang menggunakan substrat ini, sehingga dapat menjadi sumbangan ilmu pengetahuan. Substrat air cucian beras dan kulit pisang kepok memiliki potensi karena mengandung karbohidrat tinggi yang merupakan makanan utama mikroba yang berperan penting dalam proses metabolismenya[2].

*Microbial fuel cell* menghasilkan listrik melalui proses oksidasi material-material alami secara tanpa oksigen (anaerob) dengan bantuan beragam bakteri. Proses perpindahan  $H^+$  dibantu dengan menggunakan enzim bakteri atau dengan menggunakan perantara[2]. Pada sistem MFC energi listrik diperoleh dari oksidasi yang dilakukan bakteri pada ruang substrat yang mengandung banyak glukosa atau protein yang berasal dari limbah-limbah. Oksidasi yang dilakukan bakteri pada limbah-limbah yang mengandung glukosa atau protein menghasilkan  $H^+$ , Elektron dan  $CO_2$  dari proses metabolismenya. Pada MFC dua kamar  $H^+$  mengalir ke katoda dengan perantara jembatan garam, sedangkan aliran elektron terjadi pada anoda yang ditemeli elektron yang kemudian mengalir keluar melalui rangkaian eksternal listrik ke katoda. Perpindahan elektron merupakan proses yang menghasilkan listrik. Perbedaan potensial diantara ujung-ujung elektroda di katoda dan anoda terjadi karena adanya pertemuan antara  $H^+$  dan elektron[3]. Proses MFC seperti yang tergambar dalam Gambar 1.



Gambar 1. *Microbial Fuel Cell*[3]

Elektroda dan sistem *microbial fuel cell* tidak bisa dipisahkan karena sebagai salah satu media untuk proses penghasil listrik pada *microbial fuel cell* (anoda dan katoda). Didalam sel elektrokimia elektroda dapat berperan sebagai anoda maupun katoda. Elektroda berupa konduktor yang berkontak langsung dengan pada media atau bagian non-logam pada sebuah sirkuit seperti semi konduktor, kondisi vakum, maupun elektrolit. Faraday merupakan orang yang memprakarsai kata-kata kutub katoda dan anoda. Anoda merupakan elektroda tempat berlangsungnya oksidasi dan penyalur elektron yang berasal dari sel elektrokimia. Sedangkan katoda merupakan penyalur elektron ke dalam sel elektrokimia dan tempat terjadinya reduksi[4].

Katoda dan anoda merupakan bagian yang berasal dari elektron. Pada anoda terjadi setengah oksidasi berupa elektron yang berasal dari senyawa teroksidasi (zat pereduksi) dan keluar dari sel dengan perantara anoda. Di katoda juga terjadi setengah reaksi reduksi berupa perpindahan elektron ke senyawa tereduksi dengan perantara katoda. Anoda merupakan bagian (-) yang berkontak langsung dengan substrat dan katoda merupakan bagian (+) yang berkontak langsung dengan elektrolit. Anoda dan katoda dihubungkan dengan menggunakan jembatan garam yang berperan sebagai media pertukaran ion yang mana terjadi arus listrik (proton) di antara kedua kamar dan juga memiliki fungsi lain sebagai penetral anion dan kation yang berlebihan. Jembatan garam membuat terjadinya siklus aliran elektron melalui perantara kabel di rangkaian luar dan melalui larutan terjadi aliran ion-ion yang diakibatkan dari reaksi redoks pada anoda dan katoda secara spontan. Dengan demikian pengukuran arus dan tegangan listrik dapat dilakukan pada sistem MFC[5].

### **Mikroorganisme Pada Microbial Fuel Cell**

Mikroorganisme yang digunakan pada MFC merupakan bakteri atau mikroba dengan umumnya memiliki ukuran kurang dari 1  $\mu\text{m}$  dan memerlukan mikroskop untuk mengamatinya. Mikroorganisme pada MFC cenderung memiliki beberapa karakteristik seperti dapat memanfaatkan cahaya untuk menghasilkan metabolisme, tidak mudah mati pada temperatur tinggi dan dapat mendistribusikan elektron secara langsung ke elektroda[6].

Elektron,  $\text{H}^+$  dan  $\text{CO}_2$  dihasilkan dari proses oksidasi molekul biodregadabel seperti asetat yang dilakukan oleh mikroorganisme pada substrat baik berupa limbah ataupun material lainnya. Biomassa atau biofilm merupakan produk dari proses ini. Biofilm merupakan media lekat yang tercipta dipermukaan elektroda sebagai produk dari mikroorganisme. Degradasi bahan organik pada substrat dilakukan oleh mikroorganisme yang berada di sekitar biofilm. Substrat akan terdegradasi secara biologis pada elektroda yang terdapat biofilm[7]. Mikroorganisme pada MFC digambarkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Berbagai Macam Mikroorganisme Pada Microbial Fuel Cell[7]

### Air Cucian Beras

Air cucian beras atau yang biasa disebut sebagai "beras cuci" dapat dimanfaatkan sebagai sumber air yang kaya akan nutrisi bagi mikroorganisme pada *microbial fuel cell* (MFC). Kandungan nutrisi pada air cucian beras, seperti gula dan nutrisi lainnya, dapat menjadi sumber makanan bagi mikroorganisme yang hidup pada anoda MFC. Dengan kandungan materi organik yang ada pada air limbah tersebut melalui sistem MFC dapat dihasilkan energi listrik. Pemanfaatan beras cuci sebagai substrat MFC merupakan terobosan yang baik dalam memanfaatkan limbah tersebut yang selama ini hanya terbuang percuma. Selain itu juga dengan pemanfaatan ini membuat beras cuci lebih bernilai dan bermanfaat dalam menghasilkan listrik meskipun masih dalam skala laboratorium. Kedepannya perlu sebuah mekanisme yang lebih baik lagi dalam penyediaan cuci beras guna menghasilkan listrik yang lebih besar lagi[8]. Air cucian beras seperti yang terwujud dalam Gambar 3.



Gambar 3. Air Cucian Beras[8]

### Kulit Pisang Kepok

Kulit pisang (*Musa paradisiaca L.*) mengandung lemak, protein dan karbohidrat yang cukup tinggi yang dimana karbohidrat ini dapat dimanfaatkan sebagai substrat makanan bagi mikroorganisme untuk menghasilkan listrik menggunakan teknologi *microbial fuel cell* [9]. Limbah kulit pisang dapat dilihat pada Gambar 4 dan komposisi kimia kulit pisang kepok seperti yang terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia kulit pisang kepok[9]

| Unsur             | Komposisi (%) |
|-------------------|---------------|
| Kadar Selulosa    | 17,04         |
| Kadar Lignin      | 15,36         |
| Kadar Karbohidrat | 40,74         |
| Kadar Protein     | 5,99          |

| Unsur             | Komposisi (%) |
|-------------------|---------------|
| Kadar Air         | 11,09         |
| Kadar Serat Kasar | 20,96         |
| Kadar Abu         | 4,82          |
| Kadar Lemak       | 16,47         |

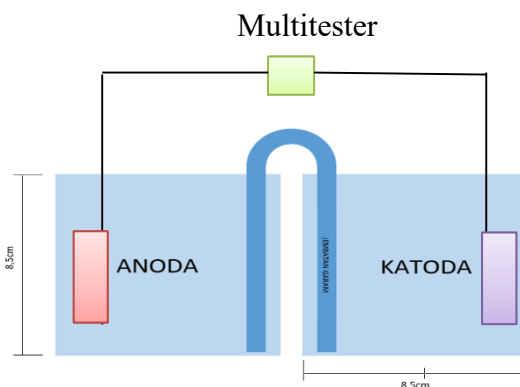


Gambar 4. Kulit pisang kepok[9]

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan pembuatan jembatan garam dan elektroda grafit. Sebelum digunakan, jembatan garam dididihkan di dalam *aquades* dan garam 1 M. Persiapan susbrat meliputi penghalusan kulit pisang dengan menggunakan blender dan untuk air cucian beras diambil dari air beras yang sudah dibasuh tiga kali. Selanjutnya dilakukan persiapan reaktor *microbial fuel cell* (MFC). Jembatan garam diletakkan di antara kompartemen (wadah) katoda dan anoda, kemudian kedua kompartemen ini dihubungkan. Pada kompartemen anoda dimasukkan substrat. Sedangkan di kompartemen katoda terdapat elektrolit dari *aquadest*. Penggunaan jenis substrat nantinya akan divariasikan pada percobaan *MFC*. Pada kedua kompartemen, dipasang elektroda grafit yang dihubungkan ke kabel pengukur menggunakan multimeter digital.

Variasi dalam penelitian ini, yaitu: variasi substrat air cucian beras, substrat kulit pisang dan campuran keduanya (50:50%), selain itu juga dilakukan variasi waktu inkubasi 3, 5 dan 7 hari. Untuk volume substrat, yaitu percobaan pertama 200 ml air cucian beras dan 200 ml kulit pisang pada bagian anoda serta 400 ml air *aquades* pada bagian katoda. Percobaan kedua 400 ml air cucian beras pada bagian anoda serta 400 ml air *aquades* pada bagian katoda. Percobaan ketiga 400 ml kulit pisang pada bagian anoda serta 400 ml air *aquades* pada bagian katoda. Kemudian dilakukan pengukuran arus listrik sesuai dengan waktu inkubasi 3, 5, dan 7 hari mulai dari pukul 09.00 pagi sampai dengan pukul 17.00 sore dengan interval pengukuran setiap 20 menit. Instalasi *microbial fuel cell* seperti yang terlihat dalam Gambar 5.

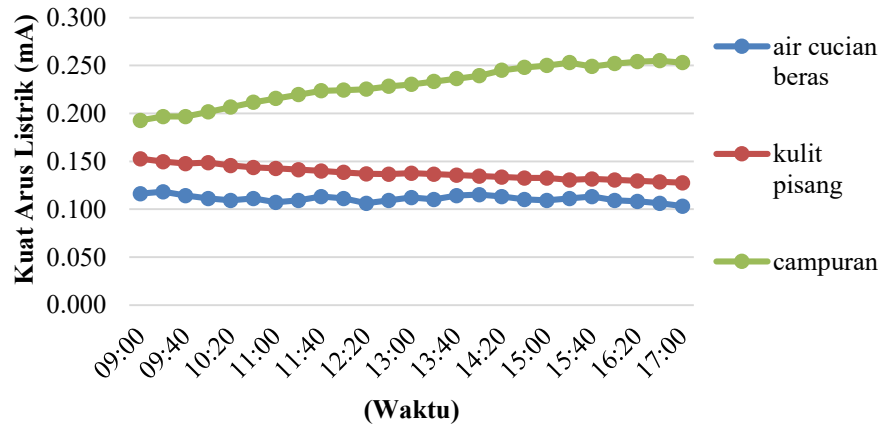


Gambar 5. Skema Instalasi *Microbial Fuel Cell*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kuat Arus Dengan Inkubasi 3 Hari

Kuat arus dengan inkubasi 3 hari seperti yang terlihat dalam Gambar 6.

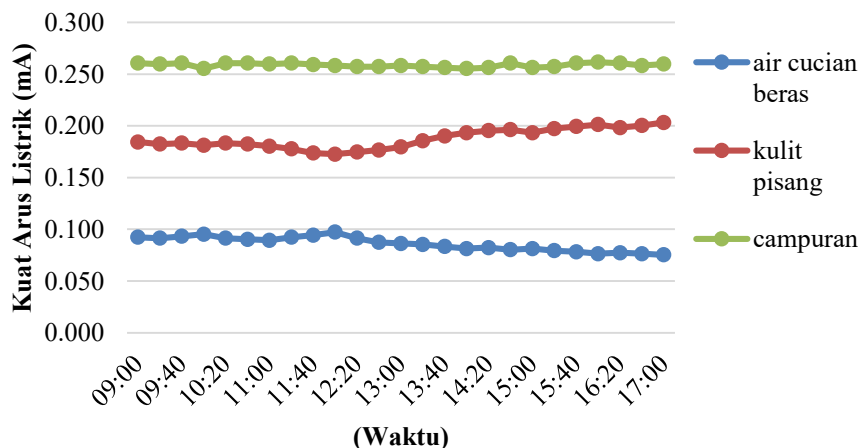


Gambar 6. Grafik kuat Arus *Microbial Fuel Cell* Inkubasi 3 Hari

Dari Gambar 6 terlihat bahwa hasil pengukuran kuat arus dengan inkubasi hari ketiga maka didapatkanlah rata-rata kuat arus variasi substrat campuran air cucian beras sebesar dan kulit pisang kepok (50:50%) sebesar 0,255 mA, ini lebih besar dari rata-rata kuat arus listrik yang dihasilkan oleh variasi substrat kulit pisang sebesar 0,153 mA dan variasi substrat air cucian beras sebesar 0,116 mA. Hal ini terjadi karena temperatur turut mempengaruhi perkembangan dan metabolisme mikroorganisme, temperatur siang hari (27-29°C) membuat metabolisme mikroorganisme meningkat sehingga terjadi peningkatan arus listrik [10,11], selain itu juga faktor tekstur substrat juga turut mempengaruhi peningkatan arus listrik. Tekstur substrat yang terlalu padat seperti kulit pisang membuat penguraiannya oleh mikroorganisme menjadi lebih lambat sehingga turut mempengaruhi arus listrik yang dihasilkan[12]. Begitupun jika teksturnya terlalu cair seperti air cucian beras juga membuat lingkungan yang kurang kondusif karena adanya penguapan air yang mengganggu mikroorganisme dalam melakukan metabolisme[2].

### Kuat Arus Dengan Inkubasi 5 Hari

Kuat arus dengan inkubasi 5 hari seperti yang terlihat dalam Gambar 7.



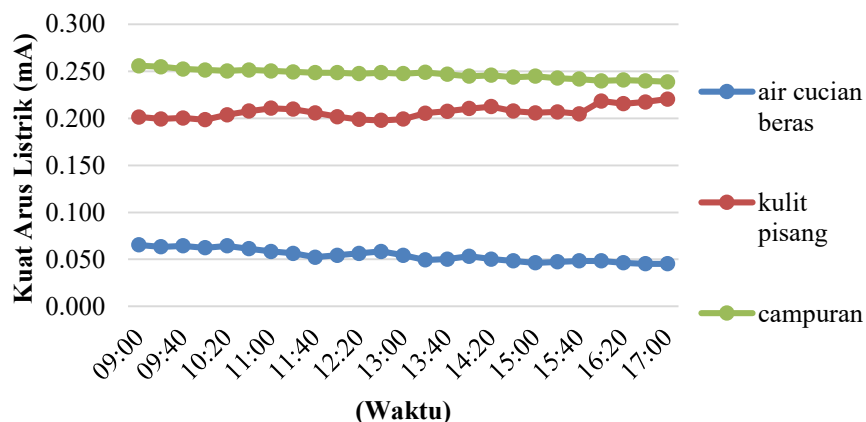
Gambar 7. Grafik kuat Arus *Microbial Fuel Cell* Inkubasi 5 Hari

Dari Gambar 7 terlihat bahwa variasi substrat campuran air cucian beras dan kulit pisang (50:50%) menghasilkan arus listrik sebesar 0,262 mA, ini lebih besar dari arus listrik yang dihasilkan oleh substrat kulit pisang yaitu sebesar 0,203 mA dan substrat air cucian beras sebesar 0,092 mA. Hal ini terjadi karena pada variasi substrat campuran air cucian beras dan kulit pisang (50:50%) mempunyai tekstur substrat yang lebih baik dari variasi substrat lainnya dimana pada substrat campuran ini teksturnya tidak terlalu cair dan tidak terlalu padat sehingga menghasilkan lingkungan yang ideal bagi mikroorganisme bereproduksi dan melakukan metabolisme [13,14].

Sama seperti halnya pada inkubasi 3 hari yaitu terjadi peningkatan arus listrik pada siang hari dikarenakan siang hari (27°C-29°C) memiliki kondisi temperatur yang paling sesuai untuk mikroorganisme bermetabolisme [15,16]. Pada Gambar 7 juga menunjukkan bahwa secara umum terjadi peningkatan arus listrik dibandingkan pada inkubasi 3 hari, hal ini dikarenakan pada inkubasi 5 hari sudah terjadi pengolahan nutrisi yang masif oleh mikroorganisme sehingga populasi mikroorganisme sudah bertambah banyak membuat terjadinya peningkatan metabolisme dan transfer elektron [17].

### Kuat Arus Dengan Inkubasi 7 Hari

Kuat arus dengan inkubasi 7 hari seperti yang terlihat dalam Gambar 8.



Gambar 8. Grafik kuat Arus *Microbial Fuel Cell* Inkubasi 7 Hari

Dari Gambar 8 terlihat bahwa variasi substrat campuran air cucian beras dan kulit pisang (50:50%) menghasilkan arus listrik sebesar 0,256 mA, ini lebih besar dari arus listrik yang dihasilkan oleh substrat kulit pisang yaitu sebesar 0,218 mA dan substrat air cucian beras sebesar 0,065 mA. Hal ini terjadi karena pada substrat campuran air cucian beras dan kulit pisang (50:50%) memiliki lingkungan yang ideal bagi mikroorganisme bermetabolisme dimana lingkungan tersebut tidak terlalu basah dan juga tidak terlalu kering selain itu juga tidak banyak terjadi penguapan air yang membuat temperatur *chamber* menjadi lebih panas [18,19].

Pada inkubasi 7 hari secara umum terjadi penurunan arus listrik pada semua variasi substrat dibandingkan pada inkubasi 3 hari dan inkubasi 5 hari, hal dikarenakan peningkatan populasi mikroorganisme membuat terjadi persaingan yang ketat dalam mendapatkan nutrisi makanan sedangkan disisi lain tidak adanya penambahan bahan makanan mikroorganisme membuat sebagian besar mikroorganisme mati dan membuat lapisan biofilm pada anoda [20,21]. Lapisan biofilm membuat transfer elektron dari anoda ke katoda menurun dan akibatnya juga menurunkan arus listrik [22,23].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa terjadi peningkatan arus listrik pada inkubasi hari ke 3 dan inkubasi hari ke 5, tetapi terjadi penurunan arus listrik pada inkubasi hari ke 7. Hal ini dikarenakan pada inkubasi hari ke 7 terjadi penurunan jumlah mikroorganisme dan penurunan metabolisemenya. Arus listrik terbaik di hasilkan variasi substrat campuran air cucian beras dan kulit pisang (50:50%) sebesar 0,262 mA pada inkubasi hari ke 5.

## REFERENSI

- [1] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi kebijakan energi baru dan energi terbarukan dalam rangka ketahanan energi nasional," *Adm. Law Gov. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 398–412, 2018.
- [2] N. P. Sipayung, M. R. Kirom, and R. F. Iskandar, "Studi pengaruh waktu inkubasi substrat tomat busuk pada microbial fuel cell terhadap produksi energi listrik pada reaktor dual chamber," *eProceedings Eng.*, vol. 6, no. 2, 2019.
- [3] A. R. Rahmani, N. Navidjouy, M. Rahimnejad, S. Alizadeh, M. R. Samarghandi, and D. Nematollahi, "Effect of different concentrations of substrate in microbial fuel cells toward bioenergy recovery and simultaneous wastewater treatment," *Environ. Technol.*, vol. 43, no. 1, pp. 1–9, 2022.
- [4] M. Kadhafi, "Studi potensi energi listrik dari plant microbial fuel cell (p-mfc) dengan variasi jenis elektroda." Jurusan Fisika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Makassar, 2020.
- [5] F. Azzahra, "Pengaruh jenis elektroda dan waktu penyimpanan greywater terhadap produksi biolistrik berbasis microbial fuel cell double chamber dengan substrat greywater." Universitas Brawijaya, 2018.
- [6] M. A. Fitri, "Pengaruh variasi elektrode dan substrat limbah buah terhadap power density pada microbial fuel cell dari air gambut." Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.
- [7] N. I. Said and M. R. Syabani, "Penghilangan amoniak di dalam air limbah domestik dengan proses Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)," *J. Air Indones.*, vol. 7, no. 1, 2014.
- [8] W. Wardiah, L. Linda, and H. Rahmatan, "Potensi limbah air cucian beras sebagai pupuk organik cair pada pertumbuhan pakchoy (*Brassica rapa L.*)," *Biol. Edukasi J. Ilm. Pendidik. Biol.*, vol. 6, no. 1, pp. 34–38, 2014.
- [9] L. Utami, L. Lazulva, and Y. Fatisa, "Produksi energi listrik dari limbah kulit pisang (*Musa paradisiaca L.*) menggunakan teknologi microbial fuel cells dengan permanganat sebagai katolit," *al Kim. J. Ilmu Kim. dan Terap.*, vol. 5, no. 2, pp. 62–67, 2018.
- [10] V. B. Oliveira, M. Simões, L. F. Melo, and A. Pinto, "Overview on the developments of microbial fuel cells," *Biochem. Eng. J.*, vol. 73, pp. 53–64, 2013.
- [11] S. Gadkari, J.-M. Fontmorin, E. Yu, and J. Sadhukhan, "Influence of temperature and other system parameters on microbial fuel cell performance: Numerical and experimental investigation," *Chem. Eng. J.*, vol. 388, p. 124176, 2020.
- [12] L. P. Syania, M. R. Kirom, and N. Fitriyanti, "Analisis produksi energi listrik menggunakan limbah lumpur ikan bandeng di jakarta utara dengan metode microbial fuel cell single chamber," *eProceedings Eng.*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [13] C. Santoro *et al.*, "The effects of carbon electrode surface properties on bacteria attachment and start up time of microbial fuel cells," *Carbon N. Y.*, vol. 67, pp. 128–139, 2014.
- [14] P. Govindarajan, M. Duraiselvam, M. Matheswaran, A. Prabakaran, T. Jayabalan, and V. Muthukrishnan, "Laser surface texturing for enhancing microbial fuel cell-



- based electricity generation from wastewater,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A J. Power Energy*, vol. 236, no. 5, pp. 937–948, 2022.
- [15] X. Mei *et al.*, “Adaptation of microbial community of the anode biofilm in microbial fuel cells to temperature,” *Bioelectrochemistry*, vol. 117, pp. 29–33, 2017.
- [16] Y. Song, J. An, and K. Chae, “Effect of temperature variation on the performance of microbial fuel cells,” *Energy Technol.*, vol. 5, no. 12, pp. 2163–2167, 2017.
- [17] W. Gustave *et al.*, “Soil organic matter amount determines the behavior of iron and arsenic in paddy soil with microbial fuel cells,” *Chemosphere*, vol. 237, p. 124459, 2019.
- [18] J. V. Boas, V. B. Oliveira, M. Simões, and A. M. F. R. Pinto, “Review on microbial fuel cells applications, developments and costs,” *J. Environ. Manage.*, vol. 307, p. 114525, 2022.
- [19] V. G. Gude, “Wastewater treatment in microbial fuel cells—an overview,” *J. Clean. Prod.*, vol. 122, pp. 287–307, 2016.
- [20] A. J. Slate *et al.*, “Additive manufactured graphene-based electrodes exhibit beneficial performances in *Pseudomonas aeruginosa* microbial fuel cells,” *J. Power Sources*, vol. 499, p. 229938, 2021.
- [21] H. Jiang, “Combination of microbial fuel cells with microalgae cultivation for bioelectricity generation and domestic wastewater treatment,” *Environ. Eng. Sci.*, vol. 34, no. 7, pp. 489–495, 2017.
- [22] J. Greenman *et al.*, “Microbial fuel cells and their electrified biofilms,” *Biofilm*, vol. 3, p. 100057, 2021.
- [23] C. Santoro, C. Arbizzani, B. Erable, and I. Ieropoulos, “Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review,” *J. Power Sources*, vol. 356, pp. 225–244, 2017.