



Studi Pemanfaatan Limbah Cair Ikan dan Udang sebagai Substrat dalam Produksi Listrik pada Sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC)

[Study of Utilization of Fishery and Shrimp Wastewater as Substrate in Electricity Production in Microbial Fuel Cell (MFC) System]

Alfiah Alif¹✉, Muhamad Jalil Baari¹, Amalyah Febryanti²

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November, Kolaka, Sulawesi Tenggara

²Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Gowa, Sulawesi Selatan

Abstract. Microbial fuel cell (MFC) is a technology that utilizes bacteria in organic medium that can convert chemical energy into electrical energy. This technology can be used to treat fishery waste and shrimp waste which is rich in organic matter. This study aimed to measure the performance of the MFC system on fishery wastewater and shrimp wastewater as a means of producing bio-electricity while reducing the waste load. This study used different types of electrodes, including zinc, aluminum, copper, and carbon graphite. This technology used 0.2 M KMNO₄ electrolyte solution. The research method includes three stages; production of fishery wastewater and shrimp wastewater, assembly of a dual chamber MFC bioreactor, and measurement of waste electrical energy produced. The value of electricity production with the highest average in fishery wastewater was obtained by adding electrolyte solution to the Zn/Cu electrode during 117 hours of observation were 6.86 mA with a potential difference of 1.469 V meanwhile in shrimp wastewater was obtained by adding electrolyte solution to the Al/Cu electrode were 4.38 mA with a potential difference of 1.335 V. This study can be concluded that higher electricity production is obtained from the utilization of fish wastewater using Zn/Cu electrode.

Keywords: fisheries wastewater, shrimp wastewater, microbial fuel cell, electrical energy

Abstrak. *Microbial fuel cell* (MFC) merupakan suatu teknologi yang memanfaatkan bakteri dalam medium organik yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk menangani limbah perikanan dan limbah udang yang kaya akan bahan organik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur kinerja sistem MFC pada limbah cair perikanan dan limbah cair udang sebagai sarana penghasil bio-listrik sekaligus mengurangi beban limbah. Studi ini menggunakan berbagai jenis elektroda, termasuk aluminium, tembaga, seng, dan grafit karbon. Selain itu menggunakan larutan elektrolit KMNO₄ 0,2 M. Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan yaitu pembuatan limbah cair ikan dan limbah cair udang, pembuatan bioreaktor MFC *dual chamber*, dan pengukuran energi listrik limbah. Nilai produksi listrik dengan rata-rata tertinggi pada limbah cair perikanan didapatkan dengan penambahan larutan elektrolit pada elektroda Zn/Cu selama 117 jam pengamatan adalah 6,86 mA dengan beda potensial 1,469 V adapun pada limbah cair udang didapatkan dengan penambahan larutan elektrolit pada elektroda Al/Cu adalah 4,38 mA dengan beda potensial 1,335 V. Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa produksi listrik yang lebih tinggi didapatkan pada pemanfaatan limbah cair ikan dengan menggunakan elektroda Zn/Cu.

Kata kunci: limbah cair ikan, limbah cair udang, microbial fuel cell, energi listrik

Diterima: 22 September 2022, Disetujui: 26 November 2022

Sitasi: Alif, A., Baari, M.J., dan Febryanti, A. (2022). Studi Pemanfaatan Limbah Cair Ikan dan Udang sebagai Substrat dalam Produksi Listrik pada Sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC). *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 8(3): 238-247

✉ Corresponding author

E-mail: fhyaalfiah@gmail.com

<https://doi.org/10.22487/kovalen.2022.v8.i3.16033>



LATAR BELAKANG

Ketersediaan energi listrik adalah salah satu yang menjadi kebutuhan dasar hidup manusia. Meningkatnya pertumbuhan manusia menyebabkan semakin besarnya kebutuhan energi listrik, sementara pasokan energi listrik sampai saat ini semakin berkurang. Pada tahun 2019, ketersediaan minyak bumi menjadi sumber energi utama diperkirakan hanya tersisa 31% dari total minyak dunia (KESDM, 2020). Krisis energi ini mendesak untuk mengembangkan sumber energi alternatif dalam menggantikan minyak bumi yang menjadi. Pilihan bentuk energi itu sendiri dapat bergantung pada jumlah energi dan kondisi lingkungan. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu teknologi alternatif yang berpeluang dikembangkan sebagai energi cadangan, karena teknologi ini mengubah energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik menggunakan mikroorganisme. MFC mewakili dari berbagai teknologi konversi *green energy* yang mengkombinasikan limbah cair dan penemuan energi dari proses metabolisme mikroorganisme (Nawaz et al., 2020)

Jenis limbah cair yang dapat dimanfaatkan berasal dari limbah ikan dan limbah udang. Limbah tersebut merupakan jenis limbah yang menimbulkan banyak masalah bagi lingkungan. Salah satunya pada lingkungan di Kecamatan Mawasangka Kabupaten Buton Tengah. Daerah ini ditetapkan sebagai wilayah sektor perikanan dan pertambakan udang karena wilayah pesisir yang luas dan ketersediaan sumber daya air yang cukup. Limbah hasil kegiatan perikanan dan tambak udang dibuang langsung oleh masyarakat ke perairan umum tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti bau busuk yang menyengat serta polusi berat

pada air bila pembuangannya tidak ditangani dengan benar. Penanganan limbah yang tidak tepat pada lingkungan mengakibatkan masih tingginya kandungan organik limbah, seperti minyak, serpihan ikan, sisik ikan, kepala udang, sisa pakan udang yang terbawa disepanjang aliran limbah.

Limbah ikan dan limbah udang dapat dimanfaatkan dalam sistem MFC untuk menghindari timbulnya pencemaran lingkungan. Riyanto dkk. (2012) melaporkan bahwa sistem MFC menggunakan limbah tambak udang dapat diterapkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 0,39 V. Ibrahim dkk. (2017) juga telah menunjukkan adanya potensi pemanfaatan limbah ikan dalam menghasilkan listrik dengan menggunakan varian elektroda. Elektrisitas tinggi dihasilkan dengan menggunakan elektroda aluminium-karbon 0,34 V. Oleh karena itu, air limbah ikan dan udang dapat dimanfaatkan dalam sistem MFC untuk menghasilkan listrik.

Senyawa organik yang ditemukan pada limbah ikan dan udang merupakan potensi yang dapat digunakan pada sistem MFC. Keterlibatan mikroba penghasil listrik (*electrogenic*) menjadi bagian penting dalam sistem MFC dalam mengurai komponen organik dalam limbah menjadi energi listrik. Mikroorganisme penghasil listrik ini meliputi *Geobacter* sp, *Shewanella* sp, dan *Escherichia coli* yang biasa ditemukan pada sedimen atau dasar lumpur (Januarita dkk., 2016). Safitri dkk. (2020) telah melaporkan kinerja MFC dengan penambahan sedimen sebagai mikroba dan limbah ikan filet sebagai substratnya. Produksi listrik yang dihasilkan 0,55 V dan 0,217 mA.

Prinsip kerja MFC secara garis besar adalah limbah substrat dioksidasi oleh mikroba,

kemudian menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui membran penukar proton atau jembatan garam menuju katoda. Proton dan elektron pada katoda selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan air. Ion-ion inilah yang menghasilkan beda potensial listrik sehingga dapat dihasilkan energi (Nawaz *et al.*, 2020). Beberapa hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya, energi listrik yang dihasilkan cenderung lebih kecil. Oleh karena itu, melalui penelitian ini dilakukan upaya untuk menaikkan produksi elektron dan proton dengan melakukan studi variasi jenis elektroda. Selain itu, penggunaan sedimen tambak udang sebagai sumber mikroba digunakan pada penelitian ini dan limbah ikan dan udang sebagai substrat yang dimanfaatkan dalam menghasilkan energi listrik

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Mikroba yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari sedimen tambak udang dengan substrat limbah cair ikan dan limbah cair udang. Bahan kimia yang diperlukan berupa etanol 96 % (Merck), kalium permanganat (KMnO_4) (Merck p.a), natrium hidroksida (NaOH) (Merck, p.a), asam klorida (HCl) (Merck, p.a), elektroda batang karbon grafit, elektoda lempengan seng, elektroda lempengan aluminium, elektoda lempengan tembaga, kalium klorida (KCl) (Merck, p.a) dan agar, akuades, OneLab Waterone akuades.

Alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini, meliputi *hotplate stirrer*, neraca analitik, termometer, pH meter, mikro pipet, multimeter digital, kabel penghubung, kawat tembaga, penjepit buaya, *air pump*, kompor

listrik, blender, seperangkat bioreaktor MFC dan alat-alat gelas di Laboratorium.

Prosedur Penelitian

Terdapat tiga tahapan dalam prosedur penelitian ini. Tahap pertama pembuatan limbah cair buatan, tahap kedua pembuatan bioreaktor MFC, dan tahap ketiga pengukuran energi listrik limbah.

Pembuatan limbah cair buatan

Tahapan pertama yaitu pembuatan limbah cair buatan yang mengacu kepada Safitri dkk., (2020) dengan perlakuan penggunaan limbah padat dan air dengan rasio perbandingan 1:2. Masing - masing limbah ikan dan udang dihaluskan menggunakan blender kemudian ditambahkan dengan air dan direbus selama 10 menit. Tujuan dari proses perebusan untuk melarutkan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terkandung pada limbah. Setelah direbus kemudian disaring dan diambil filtratnya. Filtrat selanjutnya digunakan sebagai substrat pada sistem MFC. Hasil buatan limbah cair inilah yang digunakan oleh mikroba dalam mengurai senyawa organik dengan memanfaatkan oksigen terlarut pada air.

Pembuatan bioreaktor MFC

Bioreaktor yang dipakai adalah model bioreaktor *dual chamber*, yaitu model dua kompartemen yang terpisah. Kompartemen katoda yang diisi dengan larutan elektrolit KMnO_4 0,2 M, dan kompartemen anoda yang diisi dengan sedimen 400 ml dan limbah cair 250 ml. Keduanya kemudian dihubungkan melalui jembatan garam KCl (Kalzoum dkk., 2018). Variasi jenis elektroda yang digunakan adalah kombinasi elektroda lempengan Zn/Cu, lempengan Al/Cu, dan batang karbon grafit C/C. Masing-masing elektroda di dalam

chamber dihubungkan dengan menggunakan kawat tembaga menuju multimeter

Pengukuran energi listrik limbah

Tahap ketiga yaitu pengukuran energi listrik limbah mengacu pada Holmes dkk., (2004). Kinerja sistem MFC diukur menggunakan digital multimeter setiap 3 jam selama 117 jam melalui variabel kuat arus (I) dan variabel tegangan (V), selanjutnya nilai *power density* atau daya per satuan luas (mW/m^2) dapat ditentukan melalui dua variabel tersebut menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Power density } (\text{mWm}^{-2}) = \frac{I \times V}{A} \quad \dots\dots(1)$$

Keterangan:

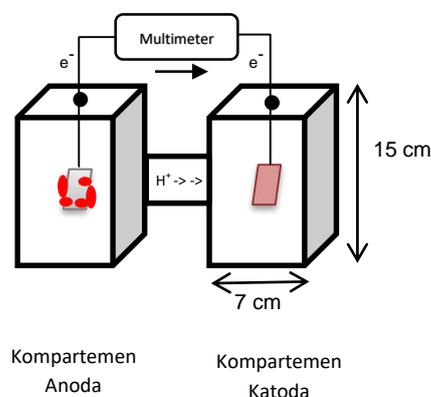
I : kuat arus (mA)

V : tegangan (V)

A : luas permukaan (m^2).

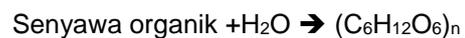
HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem *Microbial Fuel Cell* yang digunakan dalam studi ini terdiri dari dua kompartemen yaitu anoda dan katoda dengan model terpisah. Masing-masing ruang telah terpasang variasi elektroda lempengan tembaga (Cu), lempengan Aluminium (Al), dan Lempengan Seng (Zn) dengan ukuran $10 \times 4 \text{ cm}^2$ dan batang karbon dengan ukuran $5 \times 0,4 \text{ cm}^2$. Kompartemen anoda dan katoda ini dipisahkan oleh jembatan garam KCl.



Gambar 1. Model rangkaian MFC *dual chamber*

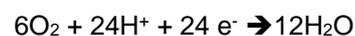
Substrat yang digunakan yaitu limbah cair ikan dan udang yang didapat dari hasil kegiatan pasar di Desa Watolo Kecamatan Mawasangka, Kabupaten Buton Tengah. Kemudian diberikan penambahan sedimen dengan memanfaatkan mikroorganisme yang ada di dalamnya. Pada ruang anoda, reaksi awal yang terjadi adalah penguraian senyawa organik menjadi senyawa yg lebih sederhana oleh mikroba, seperti gula sederhana.



Setelah senyawa kompleks diurai menjadi molekul sederhana, selanjutnya terjadi proses reduksi dengan reaksi sebagai berikut:



Mikroba selanjutnya mengurai senyawa organik yang terkandung dalam limbah ikan dan udang menjadi sumber tenaga, air dan karbon dioksida (Ibrahim dkk., 2014). Substrat dan mikroorganisme diinkubasi selama 24 jam pada ruang anoda agar mikroba dapat beradaptasi dengan lingkungan baru. Selama waktu inkubasi bakteri diruang anoda melakukan metabolisme dan menghasilkan energi berupa CO_2 , proton (H^+) dan elektron. Proton dan elektron selanjutnya mengalir ke ruang katoda yang diberikan oksigen, sehingga reaksi oksidasi yg terjadi pada ruang katoda adalah sebagai berikut:



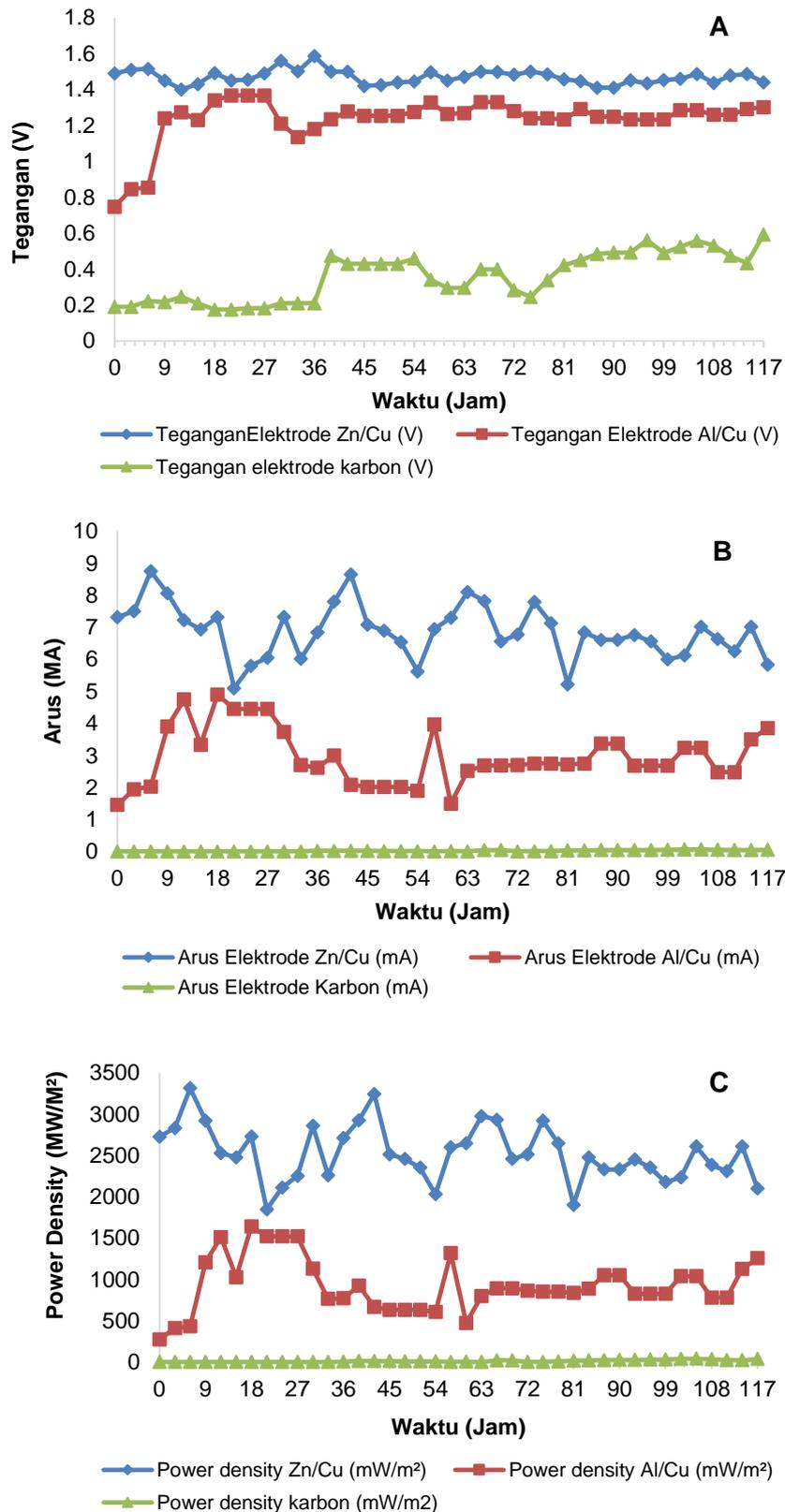
Elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme selanjutnya ditransfer ke elektroda melalui membran plasma luar mikroba yang disebut dengan sitokrom. Elektron dilepaskan dari anoda kemudian ditransfer ke katoda melalui sirkuit eksternal. Proton yang dihasilkan dari proses metabolisme ditransfer dari anoda ke katoda

melalui jembatan garam KCl. Penggunaan garam KCl mempermudah difusi proton (H^+) karena jari-jari K^+ lebih besar dari pada jari-jari H^+ . Proton dan elektron yang dihasilkan dari anoda digunakan untuk mereduksi ion Mn^{7+} menjadi Mn^{4+} pada katoda saat menggunakan larutan elektrolit $KMnO_4$ (Muftiana *et al.*, 2018). Elektron dan proton yang dialirkan dari anoda menuju katoda inilah yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik dalam bentuk tegangan dan arus oleh bioreaktor MFC.

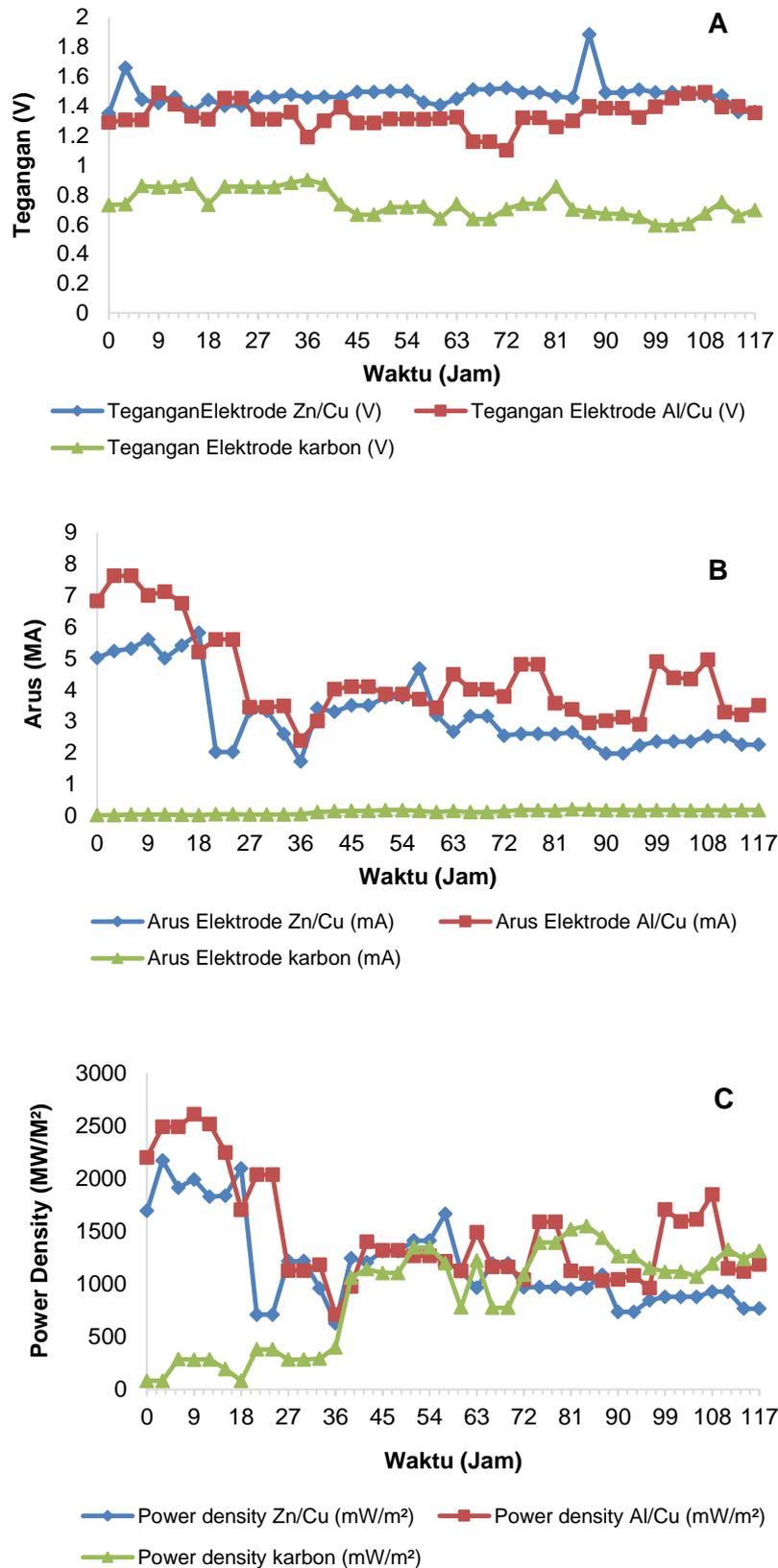
Gambar 2 menunjukkan hubungan antara waktu operasi MFC terhadap nilai elektrisitas pada substrat limbah cair ikan. Nilai elektrisitas yang dihasilkan pada semua perlakuan jenis elektroda memiliki nilai yang berfluktuasi. Sistem MFC pada substrat limbah cair ikan dengan elektroda Zn/Cu menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 1,586 V, arus 8,75 mA, dan *power density* 3314,06 mW/m^2 . Adapun nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 1,400 V, arus 5,10 mA, dan *power density* 1848,75 mW/m^2 . Pada elektroda Al/Cu menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 1,367 V, arus 4,9 mA, dan *power density* 1641,50 mW/m^2 . Adapun nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 0,748 V, arus 1,46 mA, dan *power density* 273,02 mW/m^2 . Pada elektroda C/C Cu menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 0,593 V, arus 0,07 mA, dan *power density* 14,31 mW/m^2 . Adapun nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 0,175 V, arus 0,01 mA dan *power density* 1,93 mW/m^2 . Hasil rata-rata nilai elektrisitas dari keseluruhan pengamatan menunjukkan hasil yang paling tinggi pada sistem MFC substrat limbah ikan dengan elektroda Zn/Cu (1,469 V dan 6,86 mA), kemudian diikuti Al/Cu (1,234 V dan 2,96 mA), dan C/C (0,359 V dan 0,02 mA).

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara waktu operasi MFC terhadap nilai elektrisitas pada substrat limbah cair udang. Sistem MFC pada substrat limbah cair udang dengan elektroda Zn/Cu menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 1,885 V, arus 5,81 mA, dan *power density* 2169,14 mW/m^2 . Nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 1,350 V, arus 1,72 mA, dan *power density* 626,94 mW/m^2 . Pada elektroda Al/Cu menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 1,492 V, arus 7,62 mA, dan *power density* 2605,75 mW/m^2 . Nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 1,100 V, arus 2,38 mA, dan *power density* 708,05 mW/m^2 . Pada elektroda C/C menghasilkan nilai tertinggi dengan tegangan 0,900 V, arus 0,2 mA, dan *power density* 1548,312 mW/m^2 . Adapun nilai terendah yang diperoleh yaitu tegangan 0,593 V, arus 0,01 mA dan *power density* 80,72 mW/m^2 . Dari hasil keseluruhan pengamatan, nilai rata-rata elektrisitas yang paling tinggi pada sistem MFC substrat limbah udang dengan elektroda Al/Cu (1,335 V dan 4,38 mA), kemudian diikuti Zn/Cu (1,473 V dan 2,31 mA), dan C/C (0,730 V dan 0,11 mA).

Energi listrik yang terukur pada penelitian ini berasal dari kemampuan MFC yang dapat mengubah kandungan organik pada limbah melalui aktivitas metabolisme mikroba (Pant *et al.*, 2010). Kandungan bahan organik yang ada dalam limbah cair ikan dan udang terdegradasi menghasilkan elektron yang dapat berikatan dengan oksigen, nitrat, nitrit, sulfat yang dikenal sebagai *Terminal Electron Acceptor* yang terdifusi melalui sel. Elektron tersebut ditangkap oleh anoda dan proton ditangkap oleh katoda yang menyebabkan timbulnya beda potensial sehingga menghasilkan biolistrik (Logan, 2008).



Gambar 2. Grafik hubungan antara waktu operasi MFC terhadap tegangan (A), arus (B), dan *power density* (C) dengan penambahan larutan elektrolit $KMnO_4$ 0,2 M pada substrat limbah cair ikan



Gambar 3. Grafik hubungan antara waktu operasi MFC terhadap tegangan (A), arus (B), dan *power density* (C) dengan penambahan larutan elektrolit KMnO₄ 0,2 M pada substrat limbah cair udang

Ibrahim dkk. (2014) menjelaskan bahwa saat mikroba melakukan proses metabolisme dengan melakukan pemecahan substrat sederhana, kemungkinan pada saat itu pula terjadi peningkatan energi listrik yang terukur oleh multimeter. Sementara penurunan listrik yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh mikroba yang masih beradaptasi untuk memecah substrat yang lebih kompleks menjadi sederhana. Tinggi rendahnya nilai energi listrik yang dihasilkan menunjukkan kedinamisan sistem karena digerakkan oleh makhluk hidup. Penelitian Safitri dkk. (2020) juga mengalami hal serupa. Menurutnya peningkatan dan penurunan listrik yang bersifat fluktuatif disebabkan oleh interaksi persaingan antara bakteri didalam medium dalam memecah substrat. Menurut Ibrahim dkk. (2017) peningkatan dan penurunan listrik yang dihasilkan juga berhubungan dengan jumlah elektron bebas yang dihasilkan oleh mikroba. Selain itu, seiring bertambahnya hari nilai elektrisitas yang turun pada akhir pengukuran disebabkan karena nutrisi di dalam substrat berkurang akibat aktivitas metabolisme bakteri yang semakin lama, sehingga ion elektron dan proton yang dihasilkan pun berkurang, yang dapat berpengaruh terhadap penurunan energi elektrisitas.

Berdasarkan rata-rata nilai elektrisitas yang dihasilkan pada substrat limbah ikan disemua perlakuan jenis elektroda, maka MFC dengan perlakuan kombinasi elektroda seng-tembaga merupakan perlakuan yang menghasilkan rata-rata elektrisitas paling besar dibandingkan dengan kombinasi elektroda aluminium-tembaga dan elektroda karbon. Sementara rata-rata daya listrik pada substrat limbah udang disemua perlakuan, maka MFC dengan perlakuan kombinasi elektroda

aluminium-tembaga merupakan perlakuan yang menghasilkan rata-rata elektrisitas yang besar dibandingkan dengan kombinasi elektroda seng-tembaga dan karbon.

Nilai elektrisitas yang dihasilkan dalam studi penelitian ini cenderung besar. Adanya perbedaan sifat kereaktifan dan nilai dari potensial standar dari masing-masing jenis elektroda yang digunakan menyebabkan nilai *power density* cukup tinggi. Aluminium merupakan unsur golongan IIIA yang memiliki nilai potensial standar -1,66. Seng merupakan unsur dari golongan IIB dengan nilai potensial standar -0,76, sedangkan tembaga merupakan unsur golongan IB dengan nilai potensial standar 0,34. Berdasarkan perbedaan nilai potensial standar tersebut, aluminium dan seng memiliki sifat kereaktifan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tembaga, sehingga posisi aluminium dan seng berada pada sebelah kiri deret volta. Semakin ke kiri kedudukan suatu logam dalam deret volta, maka semakin reaktif logam tersebut, sehingga semakin mudah mengalami oksidasi dalam melepas elektron. Olehnya itu, penggunaan elektroda seng dan aluminium ditempatkan pada kompartemen anoda dan elektroda tembaga pada kompartemen katoda. Adanya sifat kereaktifan dari tiap elektroda ini sangat berpengaruh terhadap aktivitas mikroba dalam mentransfer elektron ke elektroda dan memberikan efek pada energi listrik yang dihasilkan. Elektroda karbon memberikan nilai elektrisitas yang cenderung lebih kecil. Walaupun karbon mampu menghantarkan listrik, namun batang karbon grafit yang digunakan memiliki luas permukaan yang kecil dari logam aluminium, seng, dan tembaga sehingga menghasilkan nilai elektrisitas yang paling rendah.

Pengamatan terhadap hasil penelitian sebelumnya mengenai sistem MFC, hasil pengukuran nilai tegangan dan arus pada penelitian ini cenderung meningkat. Penelitian yang dilakukan Kalzoum dkk. (2018) dengan memanfaatkan limbah cair tahu sebagai penghasil listrik dengan menggunakan elektroda kombinasi seng-tembaga model *dual chamber* memberikan nilai tegangan dan arus tertinggi 0,78 V dan 0,29 mA, sedangkan Putra dkk. (2018) menggunakan kombinasi elektroda seng-tembaga dalam memanfaatkan limbah air buangan menghasilkan nilai tegangan tertinggi 0,920 mA. Nutrien yang terkandung dalam substrat menjadi salah satu faktor penting dalam memproduksi listrik yang efisien. Nutrien yang digunakan mulai dari bahan organik sederhana sampai campuran kompleks seperti pada limbah cair (Kristin, 2012). Penelitian lain yang memiliki nutrien yang sama dengan penelitian ini yaitu Ibrahim dkk. (2017) yang menganalisis kinerja MFC berdasarkan perbedaan elektroda pada limbah cair industri perikanan. Nilai elektrisitas tertinggi diperoleh pada elektroda kombinasi aluminium-karbon grafit 0,34 V. Riyanto dkk. (2012) juga telah memanfaatkan sedimen tambak udang pada sistem MFC menghasilkan produksi arus listrik terbesar 161,99 mA/m² dan tegangan 0,39 V.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kombinasi antara aluminium dan tembaga pada substrat limbah cair udang merupakan perlakuan yang paling optimal untuk menghasilkan elektrisitas terbaik dengan rata-rata nilai *power density* 1471,89 mW/m². Kombinasi antara seng dan tembaga pada substrat limbah cair ikan dengan dengan rata-rata nilai *power density* 2528,80 mW/m². Hal ini menunjukkan bahwa jenis nutrien dalam

substrat, tipe elektroda, jenis mikroorganisme kondisi operasi sistem, luas area dapat menjadi faktor yang berpengaruh terhadap nilai elektrisitas pada sistem MFC (Scott et al., 2007)

KESIMPULAN

Hasil pengukuran nilai elektrisitas menunjukkan bahwa elektroda terbaik yang mampu menghasilkan rata-rata tertinggi pada substrat limbah cair ikan adalah kombinasi elektroda seng-tembaga dengan tegangan 1,469 V dan arus 6,86 mA. Elektroda terbaik yang mampu menghasilkan rata-rata tertinggi pada substrat limbah udang adalah kombinasi aluminium-tembaga dengan tegangan 1,335 V dan arus 4,38 mA. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa produksi listrik yang tertinggi dihasilkan pada pemanfaatan limbah cair ikan dengan menggunakan elektroda Zn/Cu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi atas pendanaan Hibah Penelitian Skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2022. Terima kasih pula kepada Universitas Sembilanbelas November Kolaka sehingga penelitian ini terlaksana sesuai dengan yang kita harapkan

DAFTAR PUSTAKA

- KESDM. (2020). *Rencana strategis kementerian energi dan sumberdaya mineral tahun 2020-2024. Permen nomor 16 tahun 2020*. Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, Jakarta.
- Holmes, D. E., Bond, D. R., O, Neil, R. A., Reimers, C. E., Tender, L. R., & Lovley, D. R. (2004). *Microbial Communities Associated with Electrodes Harvesting*

- Electricity from a Variety of Aquatic Sediments. *Microbial Ecology*, 48(2), 178–190. <https://doi.org/10.1007/s00248-003-0004-4>
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adjani, Z. N. (2017). Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik dengan Perbedaan Jenis Elektroda pada Limbah Cair Industri Perikanan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 296-304. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i2.17946>
- 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). <https://doi.org/10.17844/jphpi.v17i1.8139>
- Januarita, R., & Azizah, A. (2015). *Microbial Fuel Cells* Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik. [Artikel Ilmiah]. Universitas Diponegoro, Semarang. hlm. 1-6.
- Kalzoum, A. N., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Cair Tahu sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Sistem MFC. *e-Proceeding of Engineering*, 5(3), 5724-5730.
- Kristin, E., Kirom, M.R., Qurthobi, A. (2012). Produksi Energi Listrik melalui *Microbial Fuel Cell* menggunakan Limbah Industri Tempe. [Skripsi]. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, hlm. 63.
- Logan BE. (2008). *Microbial Fuel Cell*. A John Wiley & Sons Inc, United States of America.
- Muftiana I., Suyati L., Widodo DS. 2018. 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. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 21(1), 49-53.
- Nawaz, A., Hafeez, A., Abbas, S. Z., Haq, I. ul, Mukhtar, H., & Rafatullah, M. (2020). A state of the art review on electron transfer mechanisms, characteristics, applications and recent advancements in microbial fuel cells technology. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13(4), 365–381. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1854871>
- Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, 101(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>
- Putra, F. A., Kirom, M.R., Iskandar, R.F (2018). Analisis Produksi Energi Listrik dari *Microbial Fuel Cell* dengan Pengolahan Limbah Air. *e-proceeding of engineering*, 5(3), 5610-5617.
- Riyanto, B., Maddu, A., & Firmansyah, Y. (2012). Degradasi Bahan Organik dan Pemanfaatan Arus Listrik pada Sedimen Tambak Udang Tradisional melalui SMFC. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 15(3), 183-193.
- Safitri, U. N., Anggo, A. D., & Fahmi, A. S. (2020). Kinerja Sediment Microbial Fuel Cell Penghasil Listrik dengan Nutrien Limbah Industri Filet Ikan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 2(1), 20-28.
- Scott, K., Rimbu, G. A., Katuri, K. P., Prasad, K. K., & Head, I. M. (2007). Application of Modified Carbon Anodes in Microbial Fuel Cells. *Process Safety and Environmental Protection*, 85(5), 481–488. <https://doi.org/10.1205/psep07018>.