

PRODUKSI ENERGI LISTRIK DARI LIMBAH KULIT PISANG (*Musa Paradisiaca L.*) MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *MICROBIAL FUEL CELLS* DENGAN PERMANGANAT SEBAGAI KATOLIT

LISA UTAMI^{1*}, LAZULVA¹, DAN YUNI FATISA¹

¹Jurusan Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Suska Riau,
Jalan HR. Soebrantas Panam Km. 15 No. 155 Tuah Madani Tampan Kabupaten Kampar Riau

*alamat email korespondensi: lazoelva@uin-suska.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
Riwayat Naskah : Diterima pada 19 Desember 2018 Diterima setelah direvisi pada 29 Januari 2019 Diterbitkan pada 30 Januari 2019	Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari bagaimana potensi biomassa yang tidak termanfaatkan yaitu limbah kulit pisang sebagai sumber energi listrik menggunakan teknologi <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC). Pengamatan dilakukan terhadap reaktor bejana yang didesain dengan dua <i>chamber</i> (anoda dan katoda) menggunakan KMnO_4 sebagai katolit dan dihubungkan dengan rangkaian sel elektrokimia (sel volta) kemudian diukur nilai tegangan, arus, <i>power density</i> yang dihasilkan dari rangkaian limbah kulit pisang selama 17 hari. Hasil pengukuran nilai tegangan maksimum, arus maksimum dan <i>power density</i> maksimum yang dihasilkan dari reaktor didapatkan berturut-turut sebagai berikut : 1.455 volt; 0,032 miliampere; dan 31,9 mW/m ² . Limbah kulit pisang dapat digunakan untuk memproduksi arus listrik.
Kata Kunci: <i>Microbial Fuel Cells</i> ; Kulit pisang; <i>Methilen Blue</i> ; KMnO_4	
Keywords: <i>Microbial Fuel Cells</i> ; <i>Banana peel</i> ; <i>Methilen Blue</i> ; KMnO_4	<i>This research aims to study potential of biomass banana peels waste as a source of electrical energy using microbial fuel cells (MFC). Observations were made on the two chamber vessel reactors (anodes and cathodes) using KMnO_4 as catholyte and connected with electrochemical cell flow (voltaic cells) and then measure the value of voltage, current and power density from the banana peels waste circuit for 17 days. The result of measurement of voltage, current and power density maximum from the reactor respectively are 1,455 Volt, 0,032 miliampere and 31,9 mW/m². Banana peels waste can be used to produce electric current.</i>

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang disebabkan oleh emisi gas rumah kaca dan menipisnya cadangan bahan bakar fosil disertai dengan meningkatnya permintaan dan harga bahan bakar, memaksa umat manusia untuk mengembangkan sumber bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui [1]. *Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan salah satu alternatif teknologi yang mampu menghasilkan energi yang dapat diperbarui tanpa menghasilkan emisi CO₂ dan ramah lingkungan. MFC memiliki kemampuan untuk mengubah energi kimia yang tersimpan dalam senyawa organik menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme. Bakteri dalam MFC digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan membiodegradasi senyawa organik atau limbah. Hal ini terjadi dengan cara memisahkan bakteri dari oksigen, dan ketika bakteri melepaskan elektron, akan dihasilkan perbedaan potensial antara kedua elektroda yang memproduksi arus listrik [2].

Indonesia termasuk penghasil pisang (*Musa Paradisiaca L.*) terbesar di Asia dan setiap tahun produksinya terus meningkat, bertambahnya produksi pisang maka semakin banyak pula limbah kulit pisang yang dihasilkan. Limbah kulit pisang ini belum banyak dimanfaatkan, padahal limbah kulit pisang ini mengandung lemak, protein dan karbohidrat yang cukup tinggi. Karbohidrat ini dapat dimanfaatkan sebagai substrat makanan bagi mikroorganisme untuk menghasilkan listrik menggunakan teknologi *microbial fuel cells*.

Penggunaan limbah dalam sistem MFC mempunyai beberapa keuntungan, seperti kontaminan dalam air limbah dapat menjadi sumber bahan bakar MFC untuk menghasilkan energi listrik sekaligus menurunkan level COD dari limbah [3]. Penelitian menggunakan MFC dengan memanfaatkan limbah telah banyak dilakukan, namun belum ada penelitian MFC dengan memanfaatkan limbah kulit pisang menggunakan KMnO_4 sebagai katolit sebagai sumber energi listrik. Penelitian ini bertujuan

untuk mengetahui produksi energi listrik dari limbah kulit pisang menggunakan teknologi MFC dengan KMnO_4 sebagai katolit. Dalam penelitian ini digunakan MFC dengan dua ruang, limbah kulit pisang ditempatkan dalam ruang anoda dan KMnO_4 ditempatkan dalam ruang katoda, kemudian diukur nilai tegangan, arus, power density yang dihasilkan dari rangkaian limbah kulit pisang selama 17 hari.

EKSPERIMEN

Alat, bahan, dan prosedur kerja dalam penelitian ini menggunakan prosedur kerja MFC yang telah peneliti lakukan sebelumnya [4].

Material

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah Membran Nafion 117, grafit, aquadest, NaOH, HCl, H_2O_2 3%, H_2SO_4 1 M, KMnO_4 0,1 M, metilen blue, buffer fosfat, cling wrap, alumunium foil, limbah kulit pisang.

Instrumentasi

Instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini adalah reaktor MFC tipe dua bejana, mikroamperemeter analog, dan multimeter digital.

Prosedur

Preparasi Membran Penukar Proton

Membran Penukar Proton yang digunakan adalah Nafion 117. Perlakuan awal harus dilakukan terhadap membran agar bisa digunakan pada MFC. Membran terlebih dahulu harus direbus dengan aquades selama 1 jam kemudian dididihkan dengan H_2O_2 3% selama 1 jam dan dicuci dengan aquadest. Membran selanjutnya dididihkan kembali dalam larutan H_2SO_4 1 M selama 1 jam dan dicuci dengan aquades sebanyak 3 kali. Membran disimpan (direndam) dengan aquades hingga saat akan digunakan. Sebelum mengaplikasikan membran ke dalam reaktor MFC, membran harus dianginkan sampai kering.

Preparasi Elektroda

Elektroda harus dipersiapkan dengan langkah berikut. Elektroda grafit (karbon aktif) direndam dalam larutan HCl 1 M selama 1 hari dan dibilas menggunakan aquades. Kemudian elektroda direndam kembali ke dalam larutan NaOH 1 M selama satu hari dan dibilas kembali

menggunakan aquades. Elektroda direndam dalam aquades sampai saat akan digunakan.

Preparasi Limbah Kulit Pisang

Limbah kulit pisang mula-mula dihaluskan dengan blender kemudian disaring dan diambil intisarinnya. Sampel kulit pisang yang sudah halus difermentasikan dengan cara dimasukkan ke dalam wadah dan dibungkus rapat dengan kain yang bersih, hal ini bertujuan agar udara tidak dapat masuk ke dalam wadah. Fermentasi dilakukan selama 3 hari.

Eksperimen MFC

Disiapkan reaktor MFC dengan prinsip dua kompartemen (ruang terpisah), yang terdiri dari bejana anoda dan bejana katoda. Bejana anoda dan katoda dipisahkan dengan menggunakan membran penukar ion yaitu membran Nafion 117. Masing-masing bejana dapat menampung volume 2 L, diantara kedua bejana terdapat lubang dengan diameter 3,5 cm. Di lubang ini dipasang membran penukar proton (*Proton Exchange Membran* atau disingkat PEM) sebagai tempat transfer proton. Kemudian elektroda grafit (batang karbon batu baterai bekas berukuran A) dipasang di masing-masing ruang dan dihubungkan dengan rangkaian kabel pada alat digital multimeter. Luas permukaan elektroda yang digunakan adalah $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ dengan diameter 0,3 inci dan panjang 2,25 inci. Kedalam bejana anoda dimasukkan limbah kulit pisang sedangkan ke dalam bejana katoda dimasukkan KMnO_4 . Larutan KMnO_4 dalam penelitian ini berfungsi sebagai akseptor elektron yang berasal dari anoda. Metilen blue juga ditambahkan ke bejana anoda sebagai mediator elektron. Alat MFC terbuat dari kaca dengan ukuran 30 x 21 x 15 cm.

Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan Sistem MFC

Untuk mengukur besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh alat MFC pada penelitian ini digunakan digital multimeter Sanwa CD800a untuk mengukur tegangan dan multitester Sunway SW360TRn untuk mengukur kuat arus yang diperoleh. Alat ini kemudian dihubungkan dengan hambatan 5Ω . Sebelum pengukuran dilakukan, multimeter digital dikalibrasi terlebih dahulu. Pengambilan data diambil sesuai dengan variasi waktu. Data berupa kuat arus dan tegangan akan diolah menjadi nilai power density (mW/m^2) yaitu daya persatuan luas permukaan elektroda. Power

density dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [5].

$$\text{Power density (mW/m}^2\text{)} = \frac{I \text{ (mA)} \times V \text{ (Volt)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Reaksi Kimia di Bejana Anoda dan Katoda

Microbial Fuel Cells dalam penelitian ini terdiri dari dua ruang terpisah, ruang anoda dan katoda yang pada masing-masing ruang memiliki elektroda grafit yang diambil dari baterai. Kedua ruang ini dipisahkan oleh membran kation berpori (Proton Exchange Membran Nafion-117), dengan lama waktu operasi 17 hari pada temperatur ruang. Limbah kulit pisang dalam penelitian ini diperoleh dari limbah sisa penggorengan penjual kaki lima di Jl. Uka km 3 Panam Garuda Sakti Pekanbaru Riau. Limbah kulit pisang ditempatkan dalam ruang anoda dibuat dalam kondisi anaerob (bejana tertutup rapat) karena oksigen dalam ruang dapat menghambat arus listrik yang dihasilkan.

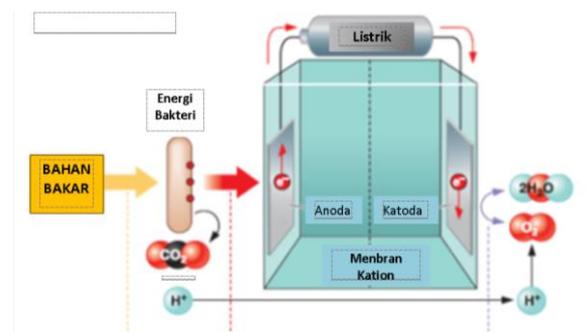
Pada kondisi aerob, bakteri menggunakan oksigen sebagai akseptor elektron untuk membentuk air. Namun dalam kondisi anaerob, tidak terdapat oksigen sehingga bakteri harus mengubah akseptor elektronnya menjadi sebuah akseptor insoluble seperti anoda MFC. Mikroba yang berada dalam limbah kulit pisang akan mengoksidasi substrat dalam limbah kulit pisang dan akan menghasilkan elektron dan proton dalam prosesnya. Pada ruang katoda ditempatkan KMnO_4 sebagai akseptor elektron. Rangkaian peralatan MFC dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian peralatan MFC Limbah kulit pisang

Energi yang dihasilkan dalam bejana *Microbial Fuel Cells* bergantung pada reaksi oksidasi dan reduksi dalam ruang anodik dan katodik. Dalam ruang anodik, substrat atau zat organik yang terdapat dalam limbah kulit pisang dioksidasi oleh sistem pernafasan bakteri tanpa kehadiran oksigen. Elektron melewati transpor

elektron dan proton menyebrangi membran sel untuk menghasilkan adenosin triphosphate (ATP). Elektron dan proton keluar melalui rantai transpor elektron ke terminal aseptor elektron, seperti oksigen. Perbedaan potensial reduksi antara donor elektron dan aseptor elektron adalah penentu ketersediaan energi potensial mikroorganisme untuk proses anabolisme [3]. Elektron yang dihasilkan dalam MFC mengalir dari anoda melewati sirkuit listrik eksternal ke katoda menghasilkan arus listrik. Ketika elektron pindah secara eksternal, proton berdifusi dari anoda ke katoda melalui membran kation untuk menyempurnakan sirkuit internal (Gambar 2). Pada katoda, elektron dan proton bergabung untuk mereduksi terminal aseptor elektron, yaitu oksigen. Oleh karena itu bakteri dalam anoda secara fisika terpisah dari terminal aseptor elektron dalam ruang katoda. Energi listrik diproduksi oleh MFC berdasarkan kecepatan aliran elektron melewati sirkuit dan perbedaan potensial elektrokimia melewati elektroda [6].



Gambar 2. Ilustrasi Skema Microbial Fuel Cells [6]

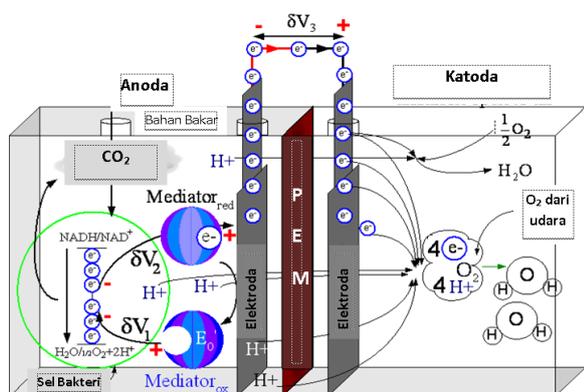
Jadi dalam penelitian ini arus listrik dihasilkan oleh mikroorganisme alami yang berada dalam limbah kulit pisang. Mikroorganisme limbah kulit pisang yang berada dalam ruang anodik akan menempel pada elektroda anoda akan mengoksidasi senyawa organik dalam limbah kulit pisang memproduksi proton dan elektron serta karbondioksida sebagai produk oksidasi. Elektron dalam ruang anodik di transfer ke katodik melewati sirkuit eksternal yang akan menghasilkan muatan eksternal listrik, dan proton di transfer melalui membran. Elektron dan proton bereaksi dalam ruang katodik mereduksi oksidant (oksigen) dan menghasilkan listrik.

Secara umum ada dua tipe MFC; sel dengan mediator dan sel tanpa mediator. Teknologi MFC secara biologi mengambil glukosa dan metanol dari limbah (substrat) dan mengubahnya menjadi hidrogen dan makanan untuk bakteri. Ketika mikroorganisme mengkonsumsi substrat seperti gula dalam kondisi aerob mikroorganisme akan menghasilkan CO_2 dan air, namun ketika tanpa

kehadiran oksigen (anaerob), mikroorganisme akan memproduksi CO₂, proton dan elektron.



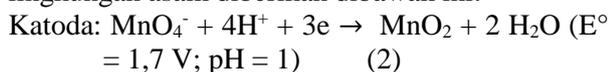
Kemudian sel menggunakan mediator anorganik untuk masuk ke rantai transpor elektron sel untuk menerima elektron yang sel produksi. Mediator melewati membran lipid sel dan dinding plasma dan mulai melepaskan elektron dari rantai transpor elektron yang secara normal akan diambil oleh oksigen dan intermediet lainnya. Ada sejumlah mediator yang disarankan untuk digunakan dalam MFC, yaitu *metilen blue*, thionin, natural red dan lain-lain [7]. Proses reaksi kimia dalam MFC untuk menghasilkan arus listrik dapat di lihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Reaksi Kimia dalam MFC untuk Menghasilkan Arus Listrik [7]

Penelitian ini menggunakan metoda tak langsung sehingga membutuhkan tambahan mediator elektron. Pada penelitian ini digunakan *metilen blue* sebagai mediator elektron. *Metilen blue* dipilih karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Zou YJ, Sun LX, Xu F dan Yang LN, menggunakan metilen blue sebagai mediator elektron dalam MFC dengan memanfaatkan *Escherichia Coli* sebagai mikroorganisme, dapat menghasilkan power density maksimum 116 mW/m² dengan potensial 0,76 V dan kuat arus 1.108 mA [7].

Pada katodik, terdapat KMnO₄ yang berguna untuk menangkap elektron (aseptor elektron) yang berasal dari anodik. Menurut Shijie You dan kawan-kawan, permanganat dapat digunakan sebagai efektif katodik aseptor elektron untuk MFC, dengan menggunakan permanganat sebagai aseptor elektron dibawah kondisi asam dapat meningkatkan *power density* 11 kali lipat dibandingkan menggunakan ferricyanida dan oksigen. Reaksi yang terjadi pada katoda, dengan menggunakan KMnO₄ sebagai katodik dalam lingkungan asam diberikan dibawah ini:



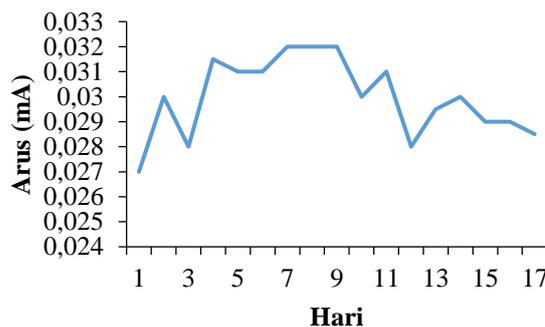
Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi Mn⁷⁺ menjadi Mn⁴⁺. Kalium permanganat juga mengalami fotodekomposisi atau terdekomposisi jika terkena cahaya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Maka pada saat penelitian dilaksanakan, bejana katoda dibuat berwarna hitam untuk menghindari fotodekomposisi.

Produksi Energi Listrik

Produksi energi listrik yang dihasilkan selama operasi MFC limbah kulit pisang diukur dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan dengan kedua elektroda pada reaktor MFC. Anoda dihubungkan dengan kutub negatif pada multimeter dan katoda dihubungkan dengan kutub positif dengan hambatan 50 Ω. Perubahan arus listrik operasi MFC limbah kulit pisang selama 17 hari ditunjukkan pada Gambar 4. Kuat arus listrik pada hari pertama operasi MFC adalah 0,027 mA. Kuat arus meningkat pada hari ke-2 menjadi 0,03 mA kemudian turun pada hari ke-3 menjadi 0,028 mA. Pada hari ke-4 kuat arus naik menjadi 0,0315 mA dan mencapai puncaknya pada hari ke-7, yaitu 0,032 mA dan kuat arus cenderung stabil hingga hari ke-9. Hari ke-10 kuat arus listrik turun menjadi 0,03 mA dan naik pada hari ke-11 menjadi 0,031 mA dan turun pada hari ke-12 menjadi 0,028 mA. Pada hari ke-14 kuat arus naik menjadi 0,03 mA dan cenderung turun hingga hari ke-17 menjadi 0,0285 mA.

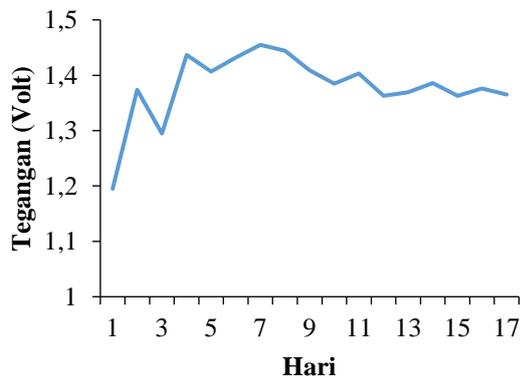


Gambar 4. Perubahan Arus Listrik Selama Operasi MFC

Gambar 5 menunjukkan perubahan tegangan listrik selama 17 hari operasi MFC limbah kulit pisang. Pada awal pengamatan tegangan listrik yang diperoleh cukup tinggi yaitu 1,195 V. Tegangan listrik meningkat cukup tajam pada hari ke-2 menjadi 1,374 V, kemudian turun pada hari ke-3 menjadi 1,295 V. Pada hari ke-4 tegangan naik menjadi 1,437 V dan mencapai

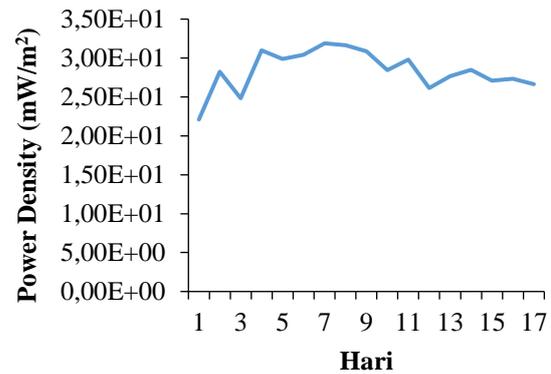
puncaknya pada hari ke-7 yaitu 1,455 V. Tegangan listrik kemudian turun hingga hari ke-10 menjadi 1,385 V, naik sedikit di hari ke-11 menjadi 1,403 V dan tegangan listrik turun teratur hingga hari ke-17 menjadi 1,365 V. Berdasarkan Gambar 4 dan 5 terlihat tegangan meningkat dengan meningkatnya arus listrik, hal ini mengindikasikan meningkatnya pelepasan electron [8].

Tegangan listrik maksimum yang diperoleh dari limbah kulit pisang dalam penelitian ini lebih besar dari penelitian yang dilakukan oleh Pranab K Barua, dkk, yang memperoleh tegangan listrik maksimum 147 mV menggunakan kotoran sapi.



Gambar 5. Perubahan Tegangan selama operasi MFC

Gambar 6 menunjukkan perubahan power density yang diperoleh selama 17 hari operasi reaktor MFC menggunakan limbah kulit pisang. Pada awal pengamatan, power density limbah kulit pisang adalah 22,1 mW/m² dan power density mengalami penurunan pada hari ke-3 menjadi 24,8 mW/m² dan meningkat lagi pada hari ke-4 menjadi 31,0 mW/m². Hal ini disebabkan karena mikroorganisme sedang berada pada fase lag atau fase adaptasi, dimana pada fase ini mikroorganisme sedang menyesuaikan diri dengan lingkungan yang baru. Pada proses pengolahan awal, energi yang dihasilkan dari metabolisme bahan organik sebagian besar digunakan untuk membentuk biofilm. Sel-sel teradsorpsi pada permukaan media, kemudian tumbuh, berkembang biak dan menghasilkan *extracellular polymeric substances (EPS)* untuk membentuk biofilm. Elektroda grafit pada ruang anodic berperan menjadi media lekat pada mikroorganisme untuk membentuk biofilm. Selain sel bakteri hidup dan sel bakteri yang mati dapat membentuk lapisan pada permukaan anoda semakin bertambah. Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, jumlah elektron yang ditransfer ke elektroda semakin sedikit sehingga terjadi penurunan arus listrik [9].



Gambar 6. Perubahan Power Density Selama Operasi MFC (mW/m²)

Pada pengamatan selanjutnya power density cenderung naik pada hari berikutnya hingga mencapai puncaknya pada hari ke-7 31,9 mW/m². Hal ini menunjukkan mikroba sedang berada pada fase eksponensial. Pada fase ini, sel mikroba membelah dengan cepat dan konstan. Bertambahnya jumlah sel bakteri ini memungkinkan semakin banyaknya proton dan elektron yang dapat dihasilkan dari proses metabolisme sehingga arus listrik yang terbaca semakin besar. Pada jam berikutnya, kuat arus yang dihasilkan turun seiring dengan berkurangnya jumlah glukosa yang tersedia. Hal ini sesuai dengan kesimpulan Chaudhuri dan Lovley bahwa potensial dan kuat arus berbanding lurus dengan konsentrasi substrat yang tersedia untuk dioksidasi [10].

Besarnya *power density* yang dihasilkan menunjukkan bahwa limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi energi listrik menggunakan teknologi MFC. Hal ini didukung oleh penelitian Lisa Utami dkk, yang memperoleh power density 121,700 mW/m² dengan memanfaatkan limbah kulit buah pepaya sebagai sumber energi listrik dengan memanfaatkan teknologi MFC [4].

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi energi listrik menggunakan teknologi MFC dengan *power density* maksimum 31,9 mW/m². pH awal operasi MFC adalah 3,86 menunjukkan bahwa limbah memiliki pH yang sangat asam dan setelah 17 hari operasi MFC pH limbah naik menjadi 5,02. Limbah kulit pisang tidak mampu untuk menghilangkan ion sulfat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami berikan kepada pihak Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Islam negeri Sultan Syarif Kasim Riau yang telah memberikan bantuan dana penelitian sehingga penelitian ini terlaksana dengan baik dan juga kepada tim pembantu penelitian yang telah bekerjasama dengan solid.

REFERENSI

- [1] O S Powar, "Influence of Carbon Based Electrodes On The Performance of The Microbial Fuel Cells," *International Journal of Research Granthaalayah*, 2017.
- [2] Bose , "Electricity Generation and Other Application Using Microbial Fuel Cells," 2016.
- [3] Du Haxia, "Potato Waste Treatment by Microbial Fuel Cell Evaluation Based on Electricity Generation Organic Matter Removal and Microbial Structure," 2017.
- [4] L Utami, Lisa , and Lazulva , "Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pepaya Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells," *Al-Kimia*, pp. 2549-9335, 2017.
- [5] Momoh and Yusuf , "A Novel Electron Acceptor For Microbial Fuel Cells: Nature of Circuit Connection On Internal Resistance," *Biochemichal Journal*, 2016.
- [6] K C Wrighton, "Microbial Fuel Cells: Plug-in and Power On Microbiology," 2009.
- [7] D Pranab, B, and K Barua, "Electricity Generation From Biowaste Based Microbial Fuel Cells," *International Journal Energy*, vol. 1, no. 1, 2010.
- [8] Y Shijie, "A Microbial Fuel Cells Using Permanganate As Cathodis Electron Acceptor," 2006.
- [9] T Y G Zhuwei Du and Haoran Li, "A State of the Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy," *Biotechnol. Adv. Elsevier*, 2007.
- [10] D Permana, "Evaluasi penggunaan Metilen Biru sebagai Mediator Elektron pada Microbial Fuel Cells dengan Biokatalis Acetobacter Aceti," 2013.