

Electricity Production From Peat Water Uses Microbial Fuel Cells Technology

Lisa Utami, Lazulva dan Yuni Fatisa

Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sutan Syarif Kasim Riau

*Email : l154_lazoelva@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to study how the potential of peat water as a source of electrical energy using Microbial Fuel Cell (MFC) technology. Observations were made on two chamber vessel reactors (anodes and cathodes) and connected to electrochemical cell circuits (voltaic cells) and voltage values were measured, current, power density generated from the circuit for 9 days. The results of the measurement of the maximum voltage value, the maximum current generated and the maximum power density (8th day) of the reactor are obtained as follows: 50.8 mV, 1 μ A and 3.64×10^{-2} mW / m².

Keywords: fuel cell, electrochemicals, microbial fuel cell

I. Pendahuluan

Indonesia diperkirakan mengalami krisis listrik sebesar 1000 megawatt (MW) pada tahun 2018, karena setiap tahun ada tambahan kebutuhan listrik masyarakat sekitar 5000 MW. Akan tetapi, PT PLN hanya mampu menyediakan pasokan listrik sekitar 4000 MW setiap tahunnya. Kurangnya pasokan listrik menyebabkan sebagian wilayah di Indonesia sering terkena pemadaman listrik bergilir dan kondisi ini umumnya terjadi di pulau Sumatera dan Kalimantan.¹ Oleh karena itu harus dilakukan suatu upaya untuk mengatasi krisis listrik ini.

Lahan gambut di Indonesia seluas 20 juta hektar atau menduduki urutan ke empat dalam katagori lahan gambut terluas di dunia setelah Kanada, Uni Soviet dan Amerika. Lahan gambut tersebut sebagian besar terdapat di empat Pulau besar yaitu Sumatera 35%, Kalimantan 32%, Sulawesi 3% dan Papua 30%. Penyebaran lahan gambut di Sumatera, khususnya terdapat di dataran rendah sepanjang pantai timur dengan luas 7,2 juta

hektar. Riau, merupakan provinsi dengan lahan gambut terluas di Pulau Sumatera yaitu \pm 4,04 juta Ha atau 56,1% dari luas total lahan gambut di Sumatera. Potensi gambut yang sangat besar di wilayah ini perlu dikelola secara arif sehingga dapat memberikan nilai tambah tanpa merusak fungsi alami lahan gambut itu sendiri.²

Lahan gambut merupakan suatu ekosistem lahan basah yang dibentuk oleh adanya penimbunan bahan organik di lantai hutan yang berasal dari reruntuhan vegetasi di atasnya dalam kurun waktu lama.³ Air gambut mempunyai derajat keasaman tinggi (pH antara 3-5), kandungan partikel tersuspensi rendah, dan intensitas warna tinggi berwarna merah kecoklatan dengan kandungan zat organiknya yang tinggi.⁵ Kandungan zat organik yang tinggi dalam air gambut dapat dimanfaatkan sebagai sumber elektron dalam Microbial Fuel Cells untuk memproduksi energi listrik.

Microbial Fuel Cells (MFCs) 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 dapat digunakan dalam MFC 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.⁶

Sudah banyak penelitian MFC dengan memanfaatkan limbah cair dan sedimen, tetapi belum ada penelitian MFC yang memanfaatkan air gambut. Oleh sebab itu peneliti tertarik untuk memanfaatkan air gambut sebagai sumber energi listrik dengan menggunakan teknologi Microbial Fuel Cells. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui power density maksimum yang dihasilkan dalam proses MFC menggunakan air gambut.

II. Metodologi Penelitian

2.1. Bahan kimia, peralatan dan instrumentasi

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor MFC tipe dua kompartemen seri, mikroamperemeter analog, multimeter digital, kabel dan jepit buaya, timbangan analitik, magnetik stirer, gelas beaker, gelas ukur, erlenmeyer, spatula kaca, kaca arloji, pipet ukur, pipet tetes, pH meter, BOD meter, COD meter, magnetik Stirer. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Membran Nafion 117, grafit, aquadest, NaOH, HCl, H₂O₂ 3%, H₂SO₄ 1 M, KMnO₄ 0,1 M, metilen blue, buffer fosfat, cling wrap, aluminium foil, air gambut.

2.2. Prosedur penelitian

2.2.1 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 H₂O₂ 3% selama 1 jam dan dicuci dengan aquades. Membran selanjutnya dididihkan kembali dalam larutan H₂SO₄ 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 dikeringkan.

2.2.2. 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.

2.2.3 Preparasi Air gambut

Sebelum digunakan sebagai anoda dalam MFC, air gambut terlebih dahulu disaring atau dipisahkan dari kotoran-kotoran yang terbawa.

2.2.4 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 3 L, diantara kedua bejana terdapat lubang dengan diameter 3,5 cm. Di lubang ini dipasang membran 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 air gambut sedangkan ke dalam bejana katoda dimasukkan KMnO₄. KMnO₄ 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.

2.2.5 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 multimeter Sunway SW360TRn untuk mengukur kuat arus yang diperoleh. Alat ini kemudian dihubungkan dengan hambatan 5 Ω . 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 (Momoh *et al*, 2010).⁶

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

III. Hasil dan Diskusi

3.1 Reaksi Kimia di Bejana Anoda dan Katoda

Microbial Fuel Cells dalam penelitian ini terdiri dari dua ruang terpisah, anodic dan katodic 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 9 hari pada temperatur ruang.

Air gambut dalam penelitian ini diambil dari kawasan Rimbo Panjang Pekanbaru Riau, tepatnya di jalan Raya Bangkinang km 19. Air gambut di tempatkan dalam ruang anodic dibuat dalam kondisi anaerob (bejana tertutup rapat) karena oksigen dalam ruang dapat menghambat arus listrik yang dihasilkan. Pada kondisi aerob, bakteri menggunakan oksigen atau nitrat sebagai akseptor elektron untuk membentuk air. Namun dalam ruang anodic MFC, tidak terdapat oksigen sehingga bakteri harus mengubah akseptor elektronnya menjadi sebuah akseptor insoluble seperti anoda MFC. Mikroba yang berada dalam air gambut akan mengoksidasi substrat dalam air gambut dan akan menghasilkan elektron dan proton dalam prosesnya. Pada ruang katodic ditempatkan $KMnO_4$ sebagai akseptor elektron. Rangkaian peralatan MFC dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.

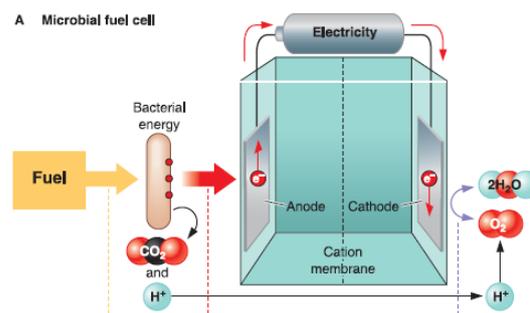


Gambar 1. Rangkaian peralatan MFC Air Gambut

Berdasarkan penelitian yg dilakukan oleh Eri, mikroba yang terdapat dalam air gambut adalah

Bacillus sp dan *Clostridium sp*.⁷ Ismail dkk, membuktikan bahwa spesies *Bacillus Subtilis* mampu menghasilkan energi berkelanjutan menggunakan Microbial Fuel Cells dengan power density $270 mW/m^2$.⁸ Namun tidak menutup kemungkinan ada bakteri lain yang berperan dalam air gambut untuk memproduksi energi listrik.

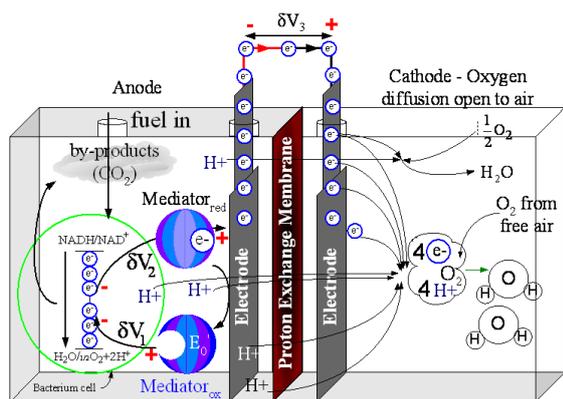
Energi yang dihasilkan dalam bejana Microbial Fuel Cells bergantung pada reaksi oksidasi dan reduksi dalam ruang anodic dan katodic. Dalam ruang anodic, substrat atau zat organik yang terdapat dalam air gambut dioksidasi oleh sistem pernafasan bakteri tanpa kehadiran oksigen. Elektron melewati transpor 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. 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.⁹



Gambar 2 Ilustrasi Skema Microbial Fuel Cells (Sumber: Kelly C Wrington)

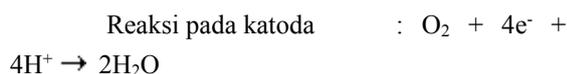
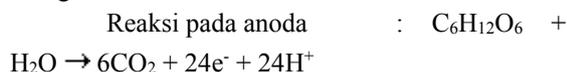
Jadi dalam penelitian ini arus listrik dihasilkan oleh mikroorganisme alami yang berada dalam air gambut. Mikroorganisme/bakteri air

gambut yang berada dalam ruang anodic akan menempel pada elektroda anoda akan mengoksidasi senyawa organik dalam air gambut memproduksi proton dan elektron serta karbondioksida sebagai produk oksidasi. Elektron dalam ruang anodic di transfer ke katoda 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.



Gambar 3. Proses Reaksi Kimia dalam MFC Untuk Menghasilkan Arus Listrik¹¹

Reaksi yang terjadi dalam ruang anodic dan katodik jika glukosa digunakan sebagai substrat dan oksigen sebagai aseptor elektron, , diberikan sebagai berikut:

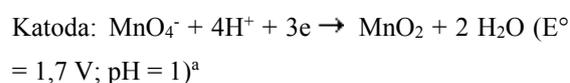


Pada sisi katoda, oksigen merupakan aseptor elektron yang paling cocok karena potensial oksidasinya yang tinggi, ketersediaannya, murah dan bersih tanpa produk akhir.

Ada dua jenis metoda transfer elektron dalam MFC, yaitu secara langsung dan tak langsung. Elektron dalam MFC dengan metoda langsung, akan mentransfer elektron langsung ke elektroda sedangkan dalam MFC metoda tak langsung, membutuhkan mediator elektron untuk transmisi elektron. 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 *Escherichia Coli* sebagai mikroorganisme, dapat menghasilkan power density maksimum 116 mW/m² dengan potensial 0,76 V dan kuat arus 1.108 mA.¹¹

Pada katoda, terdapat KMnO₄ yang berguna untuk menangkap elektron (aseptor elektron) yang berasal dari anoda. 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:

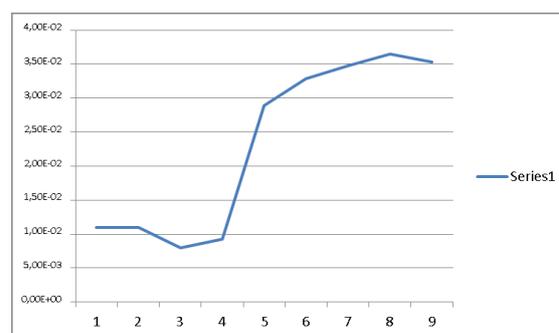


Proton dan elektron yang berasal dari anoda digunakan untuk mereduksi Mn⁷⁺ menjadi Mn⁴⁺. Kalium permanganat juga mengalami fotodekomposisi atau terdekomposisi jika terkena cahaya. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



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

3.2 Produksi Energi Listrik



Gambar 4. Grafik Power Density Air Gambut (mW/m²)

Produksi energi listrik yang dihasilkan selama operasi MFC air gambut diukur dengan menggunakan multimeter yang dihubungkan dengan kedua elektroda pada reaktor MFC. Anoda dihubungkan dengan kutup negatif pada multimeter dan katoda dihubungkan dengan kutup positif

dengan hambatan 10.000 Ω . Perubahan arus listrik dan tegangan di amati selama 9 hari operasi MFC ditunjukkan pada gambar 4. Produksi energi listrik diamati mulai dari awal operasi. Kuat arus maksimum dicapai pada hari ke-8 yaitu 1 μ A begitu juga dengan tegangan maksimum di capai pada hari ke-8 yaitu 50,8 mV, dengan power density $3,64 \times 10^{-2}$ mW/m². Power density yang dihasilkan lebih kecil dari penelitian sebelumnya, MFC dengan menggunakan kulit buah pepaya 121,700 mW/m².¹³ Hal ini mungkin disebabkan perbedaan jenis bakteri atau kurangnya sumber makanan bakteri (tidak ada penambahan glukosa selama operasi MFC ke dalam ruang anoda).

Gambar 4. menunjukkan perubahan arus listrik (power density) yang diperoleh selama 9 hari operasi reaktor MFC menggunakan air gambut. Pada awal pengamatan, power density air gambut adalah $1,09 \times 10^{-2}$ mW/m² namun power density mengalami penurunan hingga hari ke-3 menjadi $8,01 \times 10^{-3}$ 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.¹²

Pada pengamatan selanjutnya power density cenderung naik pada hari berikutnya hingga mencapai puncaknya pada hari ke-8 $3,64 \times 10^{-2}$ 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 kuat arus 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.

IV. Kesimpulan

Air gambut memiliki potensi sebagai sumber energi listrik menggunakan teknologi Microbial Fuel Cell (MFC). Pengamatan dilakukan terhadap reaktor bejana yang didesain dengan dua chamber (anoda dan katoda) dan dihubungkan dengan rangkaian sel elektrokimia (sel volta) kemudian diukur nilai tegangan, arus, power density yang dihasilkan dari rangkaian selama 9 hari. Hasil pengukuran nilai tegangan maksimum, arus maksimum yang dihasilkan dan power density maksimum (hari ke-8) dari reaktor didapatkan berturut-turut sebagai berikut : 50,8 mV, 1 μ A dan $3,64 \times 10^{-2}$ mW/m².

Referensi

1. Mubekti. (2011).” *Studi Pewilayahan Dalam Rangka Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Provinsi Riau*” Pusat Teknologi Inventarisasi Sumber Daya Alam-BPPT.
2. Akhmad Khusyairi. (2014).” *Kajian Lahan Gambut Sebagai Calon Lokasi/ Tapak PLN*”. *Berkala Fisika*. ISSN: 1410-9662.
3. Dadan Suherman, et all. (2013).” *Menghilangkan Warna dan Zat Organik Gambut Dengan Metode Koagulasi – Flokulasi Suasana Basa*”. ISSN: 0125-9849.
4. Bose, Amarnath, Bose, Debajyoti. (2016). “Electricity Generation and Other Application Using Microbial Fuel Cells”. *WSN* 37, 321-333.
5. Momoh, Yusuf, OL, Naeyor. B. (2010). “ A Novel Electron Acceptor for Microbial Fuel Cells : Nature of Circuit Connection on Internal Resistance.” *J. Biochem Tech.* 2(4). Pp. 216-220.
6. Iva Rustanti Eri, Wahyono Hadi, Kajian Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih dengan Kombinasi Proses Upflow Anaerobic Filter dan Slow Sand Filter, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, ivarust.eri@gmail.com.
7. Zainab Z. Ismail, Ali J. Jaeeel, *Sustainable Energy Generation in Microbial Fuel Catalyzed With Bacillus Subtilis Species*, zismail9@gmail.com.
8. Kelly C. Wrighton dan John D. (2009). “Coates, Microbial Fuel Cells: Plug-in and Power-on Microbiology.” *Reatures*. Volume 4, Number 6.
9. www.enm.bris.ac.uk /teaching/projects/2008_09/pr4811/background.html, Mucle For Microbes. 2014.

10. You, Shijie, Qingliang Zhao, Jinna hang, Junqiu Jiang, Shiqi Zhao. (2006). " A Microbial Fuel Cell Using Permanganate as the Cathodic Electron Acceptor".2. pp.1409.
11. Lisa Utami dan Lazulva.(201).“Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pepaya Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells”. Al-Kimia.
12. Dani Permana, et al. (2013).”Evaluasi penggunaan Metilen Biru Sebagai Mediator Elektron Pada Microbial Fuel Cell Dengan Biokatalis Acetobacter Aceti.” Molekul, Volume 8.